

ANALISIS PERUBAHAN LEBAR TERUSAN AKIBAT PERKEMBANGAN DEBIT

TESIS

**Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

F a u z i
NIM : L 4A 098020



**MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

JULI 2001

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERUBAHAN LEBAR TERUSAN AKIBAT PERKEMBANGAN DEBIT

Diajukan Oleh

F a u z i
NIM : L4A 098020

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

22 juni 2001

Tesis ini diterima sebagai suatu persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Semarang, Juli 2001

Tim Penguji :

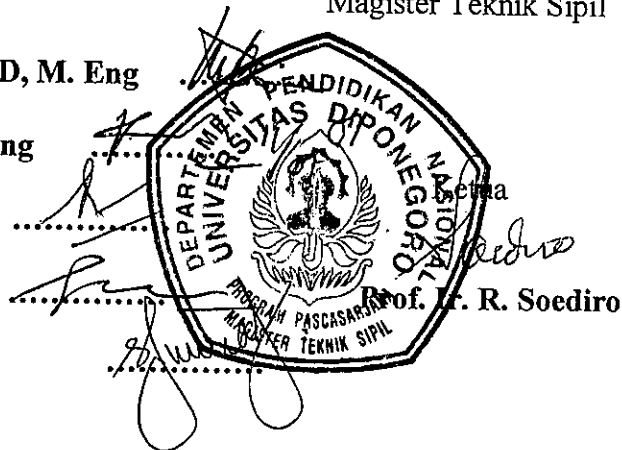
Ketua :

Prof. Ir. R. Soediro

Anggota :

1. Dr. Maryono Bony, Dipl. WRD, M. Eng
2. Dr. Ir. Robert Kodoatie, M. Eng
3. Dr. Ir. Suripin, M. Eng
4. Ir. Sugiyanto, M.Eng
5. Dr. Ir. Imam Wahyudi, DEA

Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil



LEMBAR PENGESAHAN

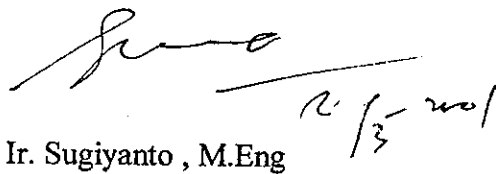
**ANALISIS PERUBAHAN LEBAR TERUSAN
AKIBAT PERKEMBANGAN DEBIT**

Oleh

Ir. Fauzi
L4A 098020

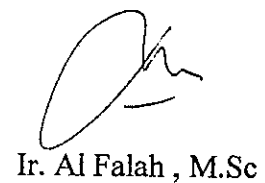
Disetujui oleh:

Pembimbing I



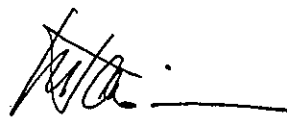
Ir. Sugiyanto, M.Eng

Pembimbing II



Ir. Al Falah, M.Sc

Pembimbing Utama



Dr. Maryono Bony, Dipl. WRD, M. Eng

ABSTRACT

This thesis presents the analysis of the channel width development due to the discharge fluctuation, The channel width was correlated with discharge parameter, ie : hydraulic geometry, flow depth, discharge and slope of the channel.

The best correlation between channel width and discharge parameters was obtained by using based on data published by Puslitbang Pengairan (1998) of Departement of Public Works, it was found that the channel width is strongly related with discharge and water depth. The obtaine equation was the validated with data from varion rivers on the world, including from rivers in Indonesia.

The bank erosion was investigated using moment stability analysis of practicle and the total erosion load from 1958 to 1996 was computed by volume method. The result was compared to the total erosion load calculated using Ackers – White (1973).

INTISARI

Thesis ini menganalisis perubahan lebar terusan/sungai akibat perkembangan debit. Penentuan lebar terusan/sungai dikembangkan berdasarkan korelasi-korelasi antara parameter geometrik hidrolik yang ada, meliputi kedalaman air, debit aliran dan kemiringan.

Dari analisis optimasi non-linear dapat ditentukan besarnya lebar terusan /sungai yang merupakan fungsi debit dan kedalaman air. Ratio ketidak-cocokan (*discrepancy ratio*) dan korelasi antar parameter hidrolik dinalisis secara detil.

Data yang dipakai berasal dari Puslitbang pengairan (1998) meliputi debit, kedalaman air, lebar terusan dan kemiringan sungai. Untuk validasi digunakan data dari beberapa sungai di dunia (179 set data) dan di Indonesia (4 set data).

Analisis kelongsoran tebing sungai dilakukan dengan metode analisis stabilitas momen partikel dan selanjutnya besarnya erosi dari tahun 1958 sampai dengan tahun 1996 dihitung dengan perkembangan volume yang terjadi, dari hasil perhitungan didapat nilai perbandingan sebesar 98 % kemudian dibandingkan dengan dengan hasil erosi dari persamaan tranpotasi sedimen Acker – White (1973).

KATA PENGANTAR

Kami panjatkan puji syukur terhadap Allah SWT Tuhan yang maha kuasa pencipta alam semesta, atas berkat rahmat dan kasihNYA kami dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik.

Tesis ini merupakan persyaratan yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Pascasarjana Program Magister Teknik Sipil konsentrasi Pengelolaan Sumber Daya Air untuk mencapai jenjang pendidikan tingkat strata dua (S2).

Adapun materi dari Tesis ini ditekankan pada perkembangan dimensi terusan akibat perubahan debit yang semakin besar, berdasarkan data-data dan parameter yang ada kemudian dengan pendekatan statistik, perkembangan tersebut dapat dianalisa dengan jelas selama kurun waktu empat dasawarsa.

Didalam pembuatan Tesis ini kami selalu berusaha sebaik-baiknya dengan berpegang kepada ketentuan yang berlaku dan prinsip-prinsip teknis, namun karena keterbatasan pengetahuan dan waktu maka kami menyadari dalam penyajiannya akan jauh dari sempurna. Untuk itu segala kritik yang positif sangatlah kami harapkan demi sempurnanya Tesis ini.

Akhirnya tak lupa kami ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada yang terhormat :

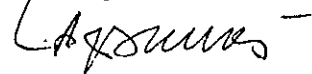
1. Prof. Ir Eko Budiardjo, MSc, selaku Rektor Universitas Diponegoro.
2. Prof. Ir Sudiro, selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil.
3. Dr.Maryono Bony, Dipl WRD, M Eng, selaku Dosen Pembimbing Utama.
4. Ir. Sugiyanto, M. Eng, selaku Dosen Pembimbing Pertama.

5. Ir. Al Falah MSc, selaku Dosen Pembimbing Kedua
6. Dr. Ir. Robert Kodoati, M. Eng, dan Dr. Ir. Suripin, M. Eng, sebagai dosen pembahas.
7. Semua dosen dan staf pengajaran.
8. Istri dan anak-anakku Damar dan Dinar yang memberi dorongan moril.

Selanjutnya harapan kami semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kepentingan pendidikan di lingkungan Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Semarang, Mei 2001

Penyusun



F a u z i

L4A 098020

DAFTAR ISI

Halaman judul	i
Lembar pengesahan.....	ii
Abstraksi.....	iii
Kata pengantar.....	v
Daftar isi.....	vii
Notasi.....	ix
Daftar tabel.....	xi
Daftar gambar.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Permasalahan Pokok.....	2
1.3.Maksud dan Tujuan.....	5
1.4.Lokasi Studi.....	6
1.5.Permasalahan di Lokasi Studi.....	9
1.6.Pembatasan Masalah	11

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gradasi Dasar Sungai Akibat Penyadapan Air.....	12
2.2. Kestabilan Lereng.....	15
2.3. Proses Pelebaran Terusan.....	22
2.4.Transport Sedimen.....	23
2.4.1. Angkutan Dasar	24
2.4.2. Metode Ackers-White.....	25
2.5. Model Regresi Linier.....	27
2.6. Pengambilan Data.....	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram alir penelitian.....	36
3.2. Definisi Lebar, Debit dan Tinggi Aliran.....	35
3.3. Out Put (keluaran).....	35

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Data lapangan.....	36
4.2. Analisa data.....	37
4.2.1. Analisis kestabilan lereng.....	37
4.2.2. Analisis sedimen transport.....	39
4.2.3. Analisis regresi.....	44
4.3. Validasi.....	53

4.4. Keseimbangan Sungai.....	55
4.5 Prediksi keseimbangan Sungai.....	56
4.6 Kondisi akhir Morphologi.....	56

BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Rekomendasi.....	58

STUDI PUSTAKA.....	59
--------------------	----

Lampiran 1 Data sungai di beberapa negara (di dunia).....	62
--	----

Lampiran 2 Validasi persamaan beberapa sungai didunia.....	66
--	----

Lampiran 3 Kecepatan yang di ijinan oleh Fortier dan Scobey.....	70
--	----

Lampiran 4 Perhitungan kestabilan lereng.....	71
---	----

Lampiran 5 Lembar photo	80
-------------------------------	----

Notasi

A	: Luas	m^2
a_1, a_2	: koefisien regresi merupakan koefisien arah dari garis regresi	
b_1, b_2	: koefisien regresi merupakan titik potong dari garis regresi	
Cc	: Koefisien korelasi	
d	: Diameter butiran sedimen.....	mm
F_B	: Gaya apung	$kg\ m / det^2$ (Newton)
F_D	: Gaya tarik	$kg\ m / det^2$ (Newton)
F_L	: Gaya angkat	$kg\ m / det^2$ (Newton)
F_s	: Gaya tenggelam.....	$kg\ m / det^2$ (Newton)
F_w	: Berat partikel	kg
F_g	: Gaya apung.....	$kg\ m / det^2$ (Newton)
G_s	: Berat spesifik partikel.....	kg
g	: Gravitasi bumi.....	m/det^2
h	: Kedalaman aliran.....	m
P	: Keliling basah.....	m
Q	: Debit aliran.....	m^3/det
Q_o	: Debit awal.....	m^3/det
Q_s	: Laju aliran angkutan sedimen.....	ton/ m^3
Q_{so}	: Debit sedimen awal.....	ton/ m^3
q_b	: satuan debit beban sedimen dasar.....	ton/ m^3
q_s	: satuan debit beban sedimen melayang.....	ton/ m^3
q_T	: total satuan debit yang diekpresikan dalam berat kering per satuan waktu untuk semua sistem satuan.....	ton/ m^3
R	: Jari jari hidraulik.....	m
S_o	: Kemiringan dasar sungai	
S_f	: Kemiringan garis energi sungai	
t	: Waktu	detik
\bar{V}	: Kecepatan rata-rata	m/detik
V_o	: Kecepatan awal.....	m/detik

W	: Lebar saluran atas.....m
X	: persamaan garis lurus X atas Y
Y	: persamaan garis lurus Y atas X
α	: koefisien
ΔQ	: Selisih debit.....m ³ /det
ρ	: Berat spesifik air.....kg/m ³
τ_0	: tegangan geserNewton/m ² (pascal)
$\tau_0 u$: kuat aliran (<i>stream power</i>)Newton/m ² (pascal)
ω	: kecepatan jatuh butiran.....m/det

Daftar tabel

Tabel 4.1 Data terusan Randu.....	36
Tabel 4.2 Data sungai di dunia.....	67
Tabel 4.3 Perhitungan kestabilan lereng.....	37
Tabel 4.4 Data perhitungan sedimen transport dengan metode Acker-White.....	39
Tabel 4.5 Hasil perhitungan sedimen transport dengan metode Acker-White.....	40
Tabel 4.6 Berat tanah yang terangkut tiap tahun.....	42
Tabel 4.7 Korelasi antara tinggi aliran dan lebar saluran.....	45
Tabel 4.8 Korelasi antara debit aliran dan lebar saluran.....	46
Tabel 4.9 Analisa data.....	48
Tabel 4.10 Hasil analisa data.....	50
Tabel 4.11 Validasi persamaan dengan data sungai di dunia.....	71
Tabel 4.12 Validasi persamaan dengan data sungai di Indonesia.....	54
Tabel 4.14 Sumber data sungai di beberapa negara.....	67
Tabel 4.15 Validasi terhadap beberapa sungai.....	65
Tabel 4.16 Kecepatan maksimum yang diijinkan Scobey danFortier.....	69
Tabel 4.17 Ringkasan Sumber Data.....	80
Lampiran 1 Data sungai dibeberapa negara.....	62
Lampiran 2 Validasi sungai dibeberapa negara.....	66
Lampiran 3 Kecepata maksimal yang diijinkan.....	70
Lampiran 4 Perhitungan detil kestabilan lereng.....	71

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Proses erosi.....	3
Gambar 2.2 Skema perubahan penampang	4
Gambar 2.3 Peta lokasi terusan Randu	6
Gambar 2.4 Lokasi studi	10
Gambar 2.5 Posisi Elevasi terusan Randu	10
Gambar 2.6 Skematis keadaan muka air sesaat setelah penyadapan	12
Gambar 2.7 Diagram perubahan profil kecepatan aliran	13
Gambar 2.8. Diagram profil perubahan angkutan sedimen.....	13
Gambar 2.9 Skematis perubahan morfologi sungai keadaan keseimbangan baru...	13
Gambar 2.10. Ilustrasi kelongsoran permukaan tebing sungai.....	16
Gambar 2.11 Analisis stabilitas momen dari sebuah partikel pada tebing sungai.....	17
Gambar 3.1. Flowchart analisis perkembangan lebar terusan Randu.....	32
Gambar 3.2. Flowchart analisis.....	33
Gambar 3.3. Flowchart pendekatan optimasi non linear.....	34
Gambar 3.4. Penampang sungai.....	35
Gambar 4.1. Skema penampang tanah tererosi.....	42
Gambar 4.2. Hubungan antara tanah terangkut dan sedimen tranpot.....	43
Gambar 4.3. Hubungan tinggi aliran dengan lebar terusan.....	46
Gambar 4.4 Hubungan debit aliran dengan lebar terusan.....	46
Gambar 4.5 Hubungan antara W_{dat} dan W_{hit} analisa data.....	49
Gambar 4.6 Hubungan antara W_{dat} dan W_{hit} hasil analisa data (log).....	52
Gambar 4.7 Hubungan antara W_{dat} dan W_{hit} hasil validasi dengan menggunakan data sungai di beberapa negara.....	53
Gambar 4.8 Hubungan antara W_{dat} dan W_{hit} hasil validasi data sungai di Jawa.....	54
Gambar 4.9 Hubungan debit aliran dengan waktu.....	55

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai Komering yang terletak di Kabupaten Ogan Komering Hulu Propinsi Sumatera Selatan yang disudet melalui Terusan Randu ke Sungai Ogan menimbulkan fenomena alam tersendiri, yaitu terbentuknya sungai yang dahulunya kecil menjadi besar dalam kurun waktu lebih kurang 40 tahun.

Dalam dunia teknik sipil terutama sipil hidro, erosi yang diakibatkan oleh gerak air atau debit pada sebuah sungai yang mengakibatkan longsohnya tebing pada kedua sisinya ditambah pula tidak stabilnya tanah yang ada mengakibatkan perubahan yang besar pada dimensi sungainya.

Proses perkembangan lebar yang terjadi pada setiap sungai sangat dipengaruhi oleh debit, kedalaman aliran dan stabilitas tanah pada kedua sisinya. Semakin besar debit, kedalaman aliran sungai, ketidak stabilan tanah pada kedua sisinya dan keadaan dasar sungai maka semakin lebar dan dalam pula penampang dari sungai itu. Proses tersebut akan berjalan terus sampai dicapai batas keseimbangan sungai itu .

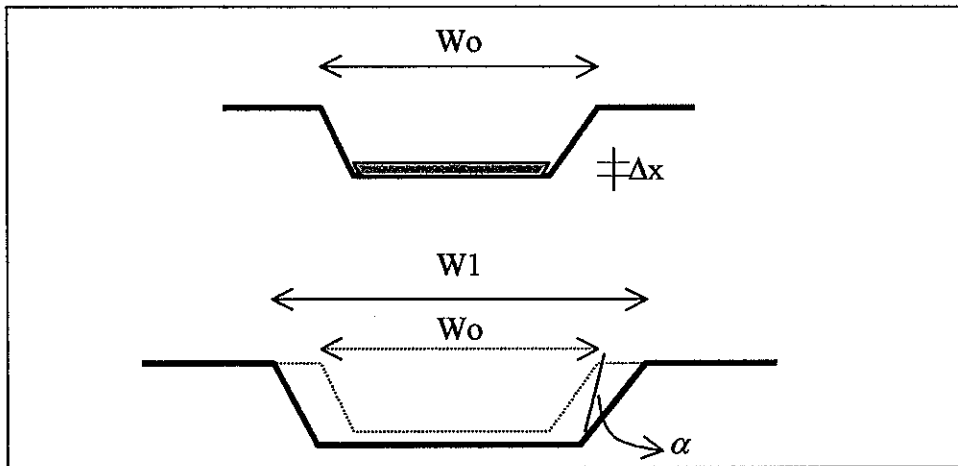
Proses terjadinya erosi pada sungai sebagai akibat dari perkembangan debit ini berawal dari terjadinya degradasi pada dasar terusan, hal tersebut membuat sudut yang tajam pada tebing terusan, pada tahap berikutnya adalah terjadinya erosi tebing. (*bank erosion*) pada kedua tebing terusan, sehingga penampang menjadi lebih lebar dari sebelumnya, tanah di kanan-kiri terusan masuk kedalam terusan. Dengan kelebaran terusan yang lebih besar maka debit yang masuk ke terusan tersebut menjadi lebih besar pula.

Setelah tanah dari kedua tepi saluran masuk kedalam sungai dan dengan adanya arus dari hulu maka tanah akan terbawa sebagai sedimen ke arah hilir, kemudian dengan adanya pengaruh dari arus air terusan yang semakin besar maka terjadi lagi degradasi pada terusan tersebut sehingga menimbulkan sudut yang tajam pada kedua bagian tebing terusan karena tidak kuat menahan beban sendiri dan akibatnya terjadi lagi erosi tebing atau penampang terusan menjadi lebih lebar. Proses ini berlangsung terus menerus hingga terjadi keseimbangan sungai.

1.2. Permasalahan Pokok

Dari kajian lebih lanjut perubahan debit yang lebih besar pada terusan akan mengakibatkan perubahan penampang sungai atau terusan, hal ini disebabkan oleh dua perbedaan yang sangat menonjol yaitu :

- Erosi hanya pada dasar terusan, hal tersebut terjadi bila lereng-lerengnya mempunyai nilai kohesif yang tinggi .
- Erosi terjadi hanya melalui pelebaran terusan (erosi pada lereng), bila dasar terusan mempunyai nilai kohesif yang tinggi.



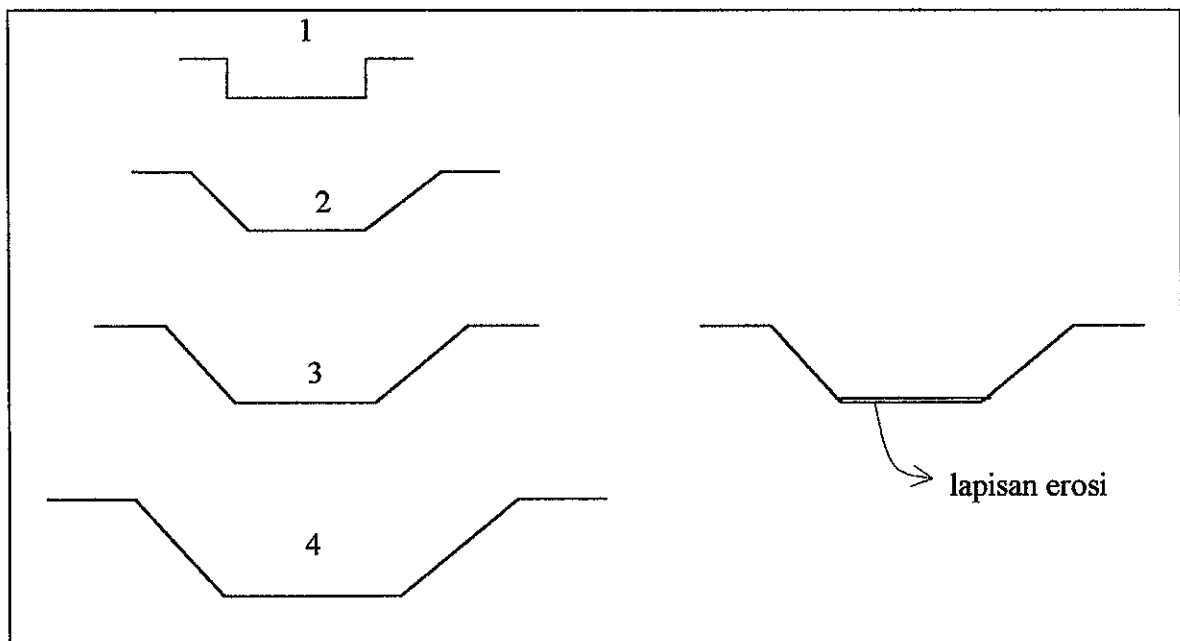
Gambar 2.1 Proses erosi

Dari percobaan di laboratorium yang dilakukan oleh Gregory (1965) dibuat terusan empat persegi panjang kecil, selanjutnya diberikan aliran air, ketika erosi mulai terjadi maka terbentuklah terusan baru yang berdimensi lebih besar mendekati bentuk trapesium dengan sisi lereng yang lebih kecil dan berlangsung secara terus menerus hingga erosi tersebut berangsur – angsur bergabung dengan terusan aslinya.

Walaupun erosi dapat menjadi proses yang dominan tetapi tidak terjadi terus menerus, bahkan erosi dapat terjadi dengan singkat, sedimen hanya terjadi di dasar saluran seperti yang nampak pada percobaan di Crawford Creeks .

Ada 4 hubungan sebagai berikut :

1. Hubungan antara lereng saluran dengan sifat aliran hidrolis
2. Hubungan antara sifat aliran hidrolis dengan transpor sedimen
3. Hubungan antara transpor sedimen dan erosi
4. Hubungan antara erosi dengan perubahan lereng saluran .



Gambar 2.2 Skema perubahan penampang

Skema perubahan penampang ini pernah dilaksanakan di Crawford Creek di bagian Timur Wales, Ford (1964).

Parameter- parameter perhitungan kestabilan lereng atau erosi yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut :

- ☐ Ukuran partikel
- ☐ Sudut repose
- ☐ Sudut kemiringan lereng
- ☐ Kemiringan dasar saluran
- ☐ Sudut deviasi

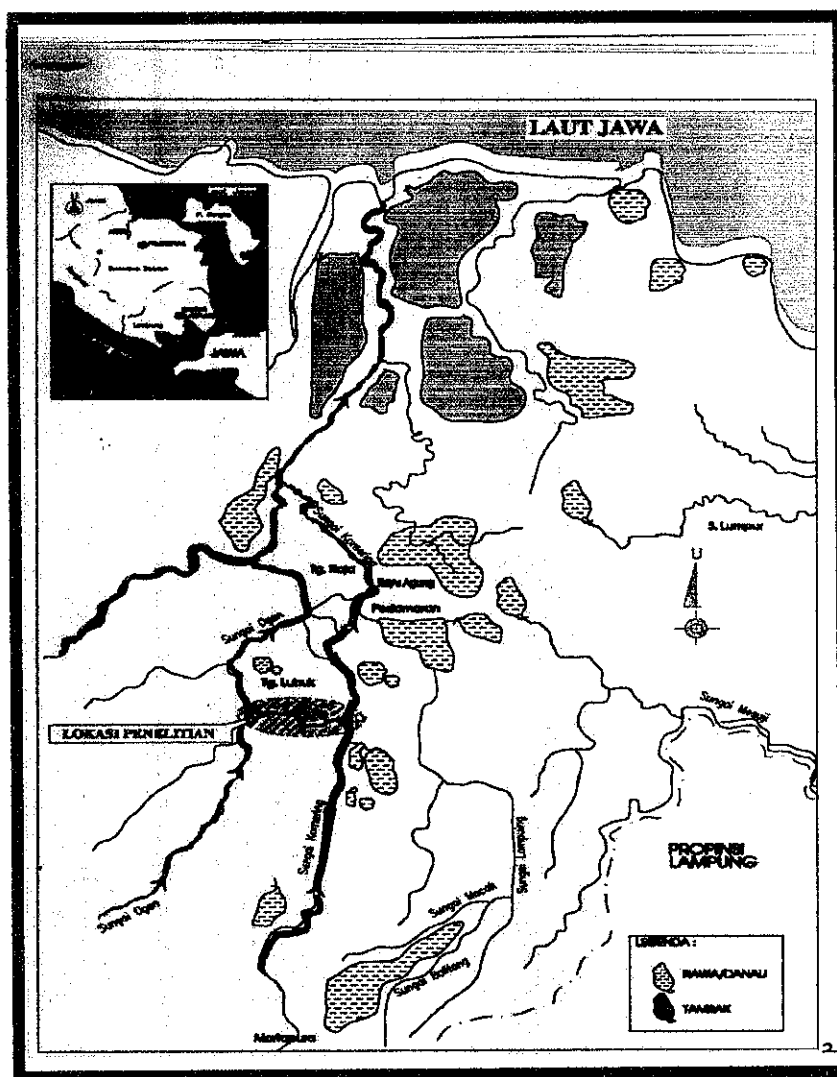
1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan tesis ini adalah untuk menyelidiki perubahan lebar terusan akibat perubahan debit pada suatu suatu sudetan.

Sedangkan tujuan dari penulisan tesis ini untuk mendapatkan parameter-parameter hidraulis yang mempengaruhi perkembangan lebar terusan, dalam rangka untuk mengendalikan perubahan lebar terusan. Dengan demikian kita dapat menghindari kejadian pelebaran saluran yang terus menerus.

L.4. Lokasi Studi

Lokasi studi ini adalah Terusan (sudetan sungai) Randu yang menghubungkan antara sungai Komering dan sungai Ogan di Kabupaten Ogan-Komering Hulu Propinsi Sumatera Selatan yang terletak pada 4° lintang selatan dan 104° bujur timur dan untuk keperluan irigasi disebelah hilir Sungai Ogan pada th 1981 terjadi banjir Sungai.Komering dengan debit sebesar $116 \text{ m}^3/\text{det}$ yang masuk ke Terusan Randu $81 \text{ m}^3/\text{dt}$ sedangkan di Sungai Ogan debitnya sebesar $130 \text{ m}^3/\text{det}$ (lihat Gambar 2. 3)



Gambar 2. 3 Peta Terusan Randu

Sungai Komering dan Sungai Ogan adalah anak sungai dari sungai Musi yang merupakan urat nadi kehidupan masyarakat di Kabupaten Ogan Komering Hulu dan Ogan Komering Hilir propinsi Sumatra Selatan.

Guna mendapatkan kebutuhan air untuk irigasi antara sungai Komering dan sungai Ogan penduduk setempat secara tradisional secara bertahap bermula membuat dan menggali saluran dari sungai Komering ke sungai Ogan pada tahun 1958 (Dep PU.1998) untuk selanjutnya masyarakat menamakannya sebagai terusan Randu, kebutuhan akan prasarana irigasi dan navigasi darat telah memacu penduduk untuk mengembangkan terusan tersebut tembus ke sungai Ogan. Pada tahap berikutnya terusan Randu secara alami berkembang dan membesar dikarenakan untuk mencapai keseimbangan morfologi yang sesuai dan mengikuti kondisi dan debit aliran dominan. (Dep PU.1998).

Menurut data yang diukur dilapangan kemiringan dasar sungai dimulut terusan Randu pada tahun 1987 adalah 0,001764 dan pada lokasi yang sama pada tahun 1998 adalah 0,000583 (Dep PU.1998). Perubahan kemiringan menjadi semakin landai. Hal ini menunjukkan terjadinya degradasi yang di mulai dari awal percabangan sungai atau dari arah hilir merambat ke arah hulu (Gregory, 1955), hal ini juga terlihat pada terusan Randu yaitu pada tahun 1987 kemiringannya adalah 0,001495 dan pada tahun 1988 kemiringan dasar sungai berubah menjadi 0,000829. Dalam waktu satu tahun kemiringan dasar sungai cenderung mengecil.

Terusan Randu secara alami selanjutnya mengalami proses pelebaran untuk mencapai keadaan keseimbangan morfologi yang sesuai dengan kondisi debit dominan, kemiringan dasar saluran (i), dan keadaan material asli dasar saluran dengan menerapkan prinsip

dasar rejim sungai (Lacey, 1929 ; Simons dan Albertson, 1963 ; Julien dan warga dalam, 1995). Saat ini alur terusan Randu telah berubah menjadi seperti sebuah sungai yang semula mempunyai lebar $\pm 2,00$ meter telah berubah menjadi alur sungai baru yang sangat lebar hampir mencapai ± 100 meter. (Dep PU.1998).

Perkembangan morfologi terusan Randu ini telah mengakibatkan :

1. Sebagian besar debit aliran Sungai Komering berpindah alirannya ke sungai Ogan melalui terusan Randu.
2. Debit Sungai Komering sebelah hilir setelah pertemuan mulut terusan Randu dengan sungai Ogan setiap musim kemarau selalu mengalami masalah kekurangan air.

Perkembangan morfologi terusan Randu yang tidak terkendali dipengaruhi oleh beberapa hal :

- a. Perbedaan elevasi dasar antara sungai Komering dan sungai Ogan sangat besar.
- b. Bentuk konstruksi pengambilan air dari sungai Komering masuk ke terusan Randu hanya berupa galian terbuka tanpa konstruksi penguat apapun atau disebut juga berupa pengambilan bebas.
- c. Tidak ada bangunan pengendali debit di sungai Komering yang dapat mengatur pembagian aliran air dan sedimen masuk ke terusan Randu.
- d. Kemiringan dasar terusan Randu jauh lebih besar dibanding dengan kemiringan dasar sungai Komering, sehingga sebagian besar debit sungai Komering cenderung masuk ke Terusan Randu (Dep PU.1998).

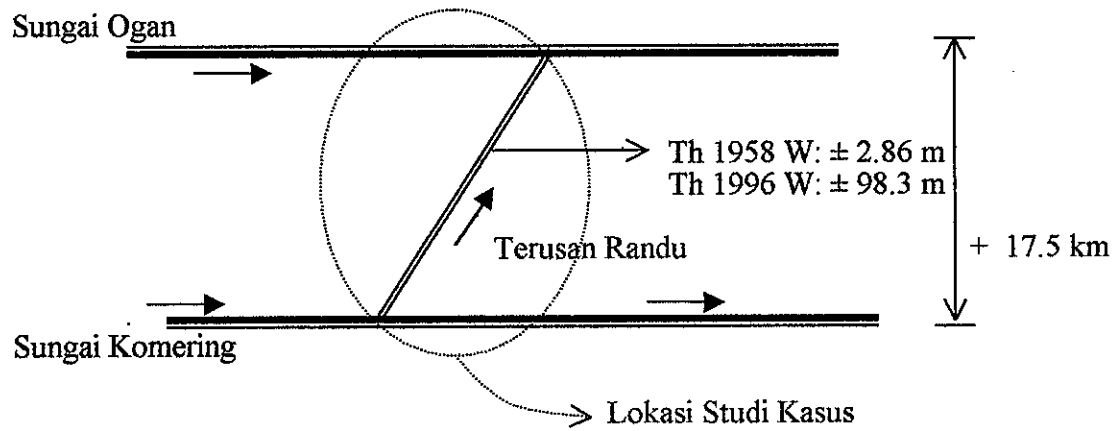
- e. Material dasar terusan Randu terdiri dari material yang relatif halus dan mudah lepas (pasir halus) sehingga mudah tergerus dan geometri saluran dengan cepat akan berubah menyesuaikan dengan kondisi debit dan kemiringan dasar terusan.

Dengan keadaan seperti ini mengakibatkan sebagian besar debit sungai Komering cenderung masuk ke terusan Randu, sehingga debit sungai Komering yang mengalir ke bagian hilir akan jauh berkurang dan menimbulkan banyak masalah kekurangan air dan kekeringan bagi penduduk dan petani pada musim kemarau.

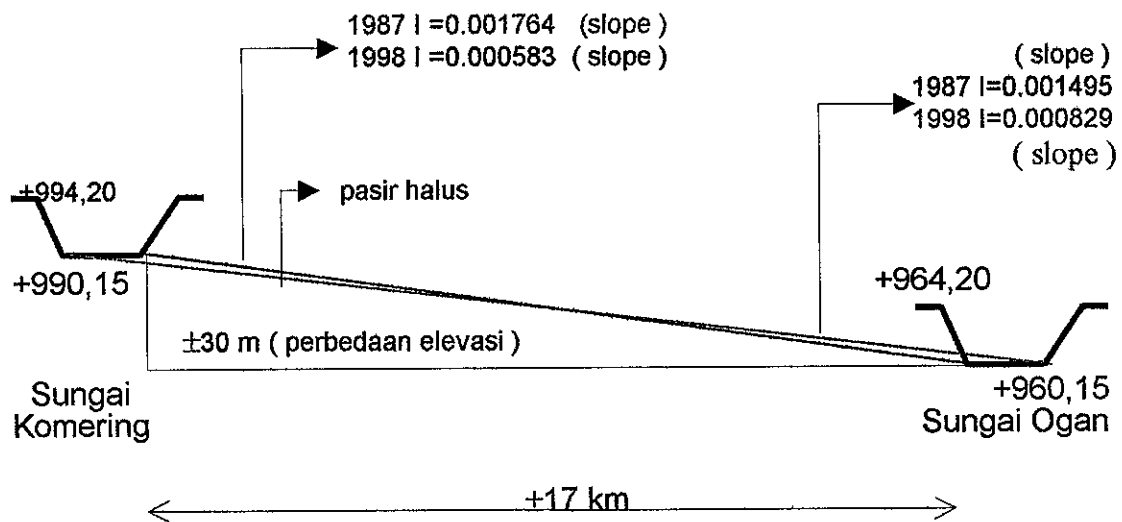
1.5 Permasalahan di Lokasi Studi

Masalah pokok studi ini adalah ditekankan pada perkembangan dimensi terusan Randu yaitu terusan yang dibuat oleh penduduk sekitar tahun 1958 dengan dimensi lebar atas yang hanya berkisar antara ± 2 meter kemudian kian bertambahnya debit dari sungai Komering ke sungai Ogan yang semula $\pm 30 \text{ m}^3/\text{detik}$ menjadi $\pm 600 \text{ m}^3/\text{detik}$ terutama pada musim penghujan selama 39 tahun.

Disamping perbedaan elevasi dan kemiringan dasar terusan yang cukup tajam (Gambar 2.5) hal ini mengakibatkan debit terusan Randu semakin hari semakin bertambah seperti yang terjadi diatas, akhirnya terjadi gerusan atau erosi pada terusan Randu tersebut dan pada tahap akhir dimensi atau lebar saluran menjadi sekitar ± 100 meter.



Gambar 2.4. Lokasi studi



Gambar 2.5 Posisi elevasi terusan Randu

1.6. Pembatasan Masalah

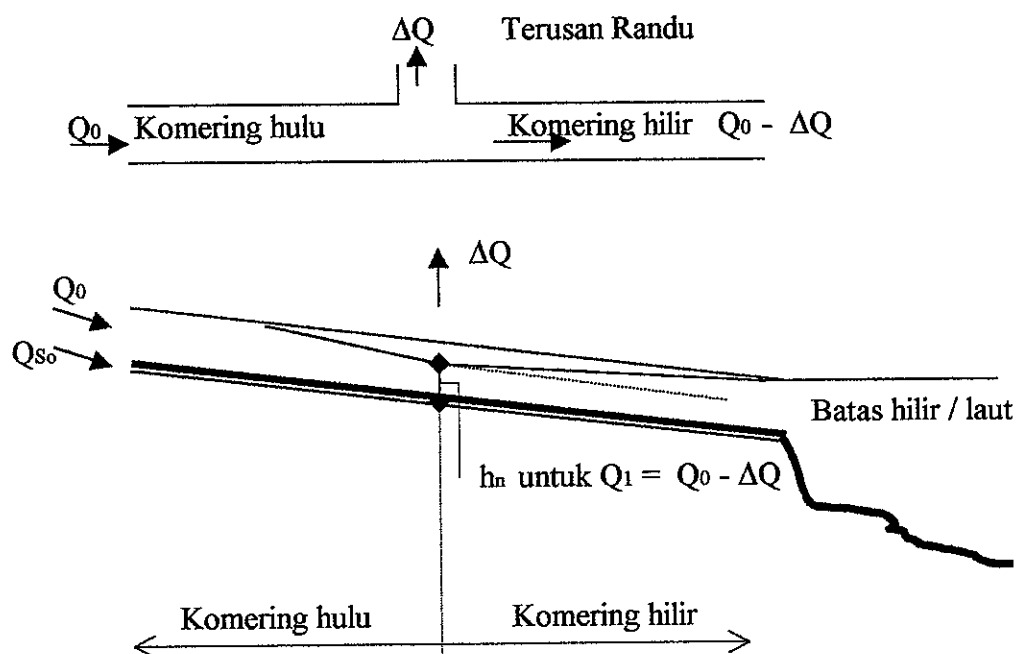
Ruang lingkup pembatasan masalah ini dan cakupan atau batasannya ditekankan pada perkembangan profil atau lebar terusan Randu yang karena penambahan debit yang terus menerus pada satu titik pada hulu terusan. Hal ini berpengaruh terhadap penggerusan terhadap dasar sungai, angkutan sedimentasi, kemiringan dasar terusan yang berubah menjadi semakin lama semakin tidak landai karena akibat sediment tranpot dari hulu ke hilir, kedalaman air yang semakin dalam, debit yang membesar, kecepatan aliran. Menurut Simon (1998) bahwa apa yang terjadi di lapangan adalah jawaban permasalahan, untuk itu teori-teori sebelumnya merupakan literatur pendukung tetapi tidak menjadikannya sebagai pedoman mutlak yang yang tidak bisa dirubah lagi. Semakin sederhana suatu pendekatan pemecahan masalah, formula yang akan didapat akan semakin baik.

Studi ini tidak untuk mengatasi permasalahan yang ada dilapangan atau mendesain satu bangunan pengatur debit tetapi penanganan untuk mengatasi permasalahannya diwujudkan dalam bentuk secara global atau dibuat dalam bentuk rekomendasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gradasi Dasar Sungai akibat Penyadapan Air dari Sungai Utama

Proses terjadinya aggradasi dasar sungai akibat adanya penyadapan atau pengalihan air dari sungai utama dapat dianalisis secara skematik dengan memperhatikan kekekalan massa sedimen dan konsentrasi volume air (Vreugdenhil, 1973). sebagai berikut :



Gambar 2.6 Skema keadaan muka air sesaat setelah penyadapan

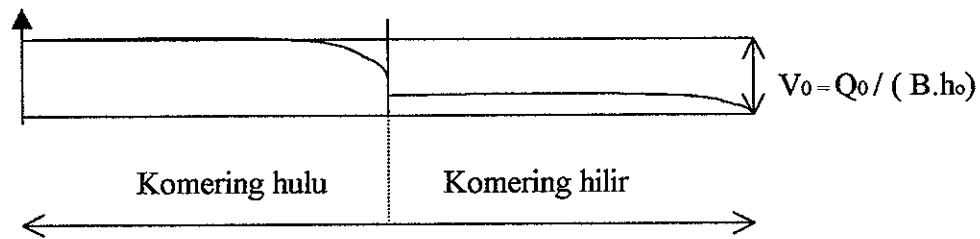
Keterangan :

Q_0 : Debit awal

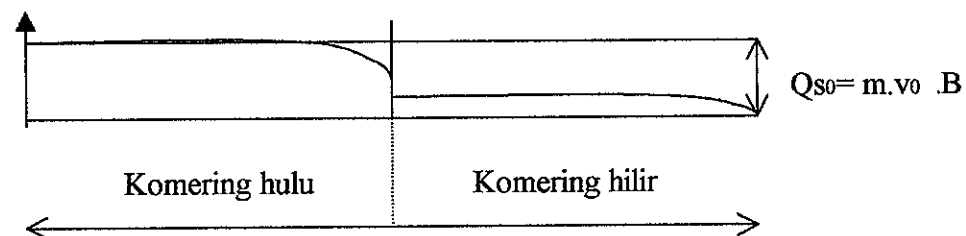
Q_{so} : Debit sedimen awal

Q_1 : Debit dibagian pertemuan sungai

ΔQ : Selisih debit (debit yang masuk ke Terusan Randu)

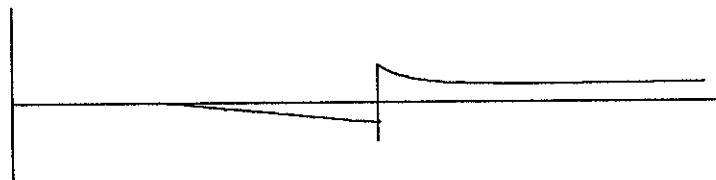
$V \text{ (m/s)}$ 

Gambar 2.7 Diagram perubahan profil kecepatan aliran

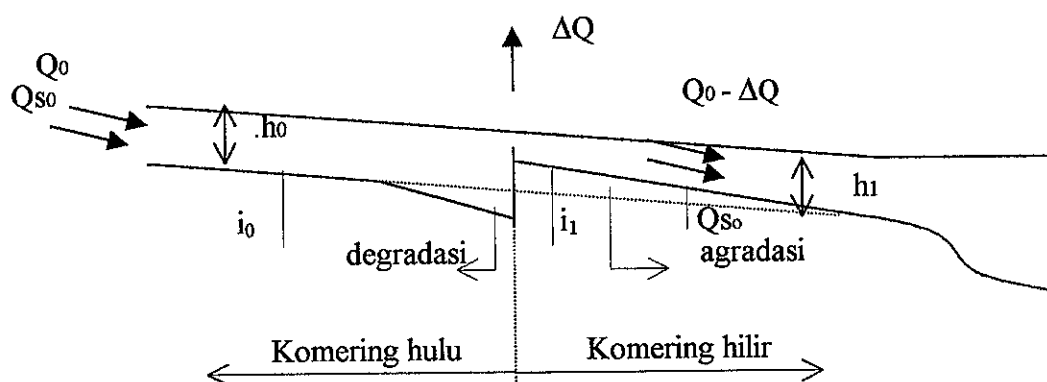
 $Q_s \text{ (m}^3 \text{ / det)}$ 

Agradasi

Degradasi



Gambar 2.8 Diagram profil perubahan angkutan sedimen



Gambar 2.9 Skema perubahan morfologi sungai pada keadaan keseimbangan baru

Keterangan :

W : lebar sungai (meter)

h : kedalaman aliran (m)

m : koefisien pada persamaan angkutan sedimen yang bergantung pada kondisi sungai

n : koefisien pangkat pada persamaan angkutan sedimen yang bergantung pada kondisi sungai

V : kecepatan aliran (m/det)

Q : debit aliran (m^3/det)

Qs : laju angkutan muatan sedimen (m^3/det)

Indek-0 : kondisi di hulu terusan.

Indek-1 : kondisi di hilir terusan

Dari uraian diatas dapat dilihat bahwa pengalihan sebagian atau penyadapan air akan mengakibatkan hal hal sebagai berikut :

1. Agradasi dasar sungai pada bagian ruas sungai utama di hilir lokasi penyadapan / pengaliran aliran
2. Agradasi terjadi mulai dari hulu dan merambat ke hilir sungai Komering.
3. Degradasi dasar Sungai Komering terjadi di sebelah hulu lokasi penyadapan / pengaliran aliran
4. Kemiringan dasar terusan penyadap pada bagian hilir akan lebih landai dari pada kemiringan sebelumnya.

2.2. Kestabilan Lereng

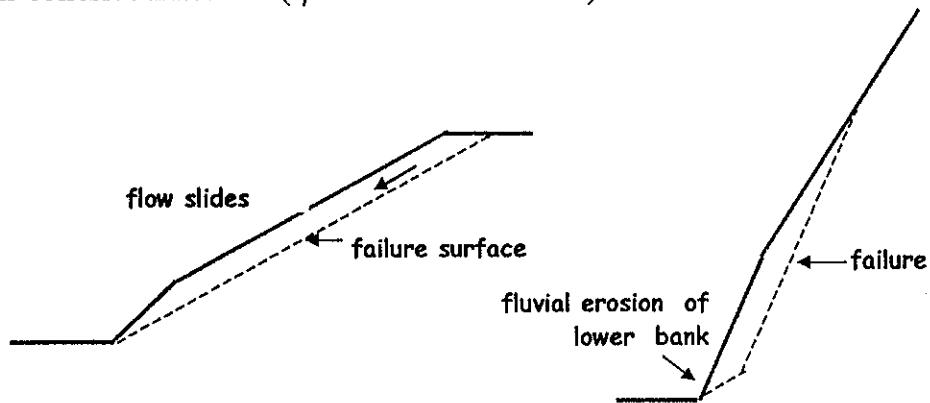
Proses erosi tebing adalah proses terangkutnya material dari tebing akibat gaya gravitasi dan pengaruh gerakan air di sungai dalam kaitannya dengan dasar dan material dari tebing.

Perubahan morfologi sungai terjadi pada aliran tinggi dengan periode singkat terutama bila debitnya melebihi debit dominan (Richardson, 1990).

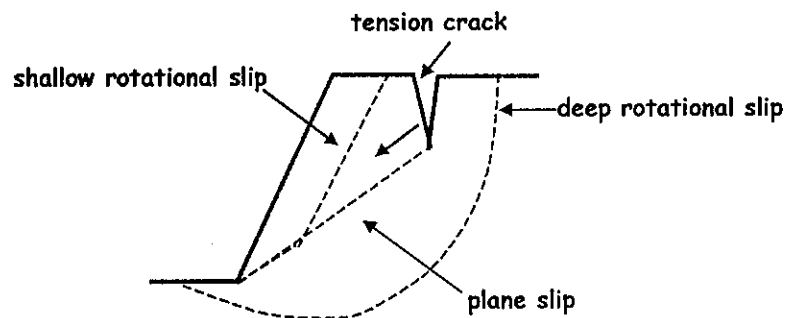
Namun ada sungai yang tidak stabil pada aliran rendah sehingga dapat dikatakan bahwa perubahan sungai tersebut terjadi pada semua kondisi aliran. Pada bagian luar suatu lengkungan proses di atas bisa terjadi sehingga sungai tersebut akan selalu berubah morfologinya. Tebing dengan material yang jelek dan mudah tergerus terbentuk pada tikungan luar suatu belokan sungai akibat dari arah aliran yang langsung mengarah ke tikungan tersebut (*direct impingement*). Material tebing yang terkelupas (*sloughing bank*) juga terjadi akibat rembesan (*seepage*) dan gaya-gaya sekunder yang lain yang tercipta oleh air yang mengalir kembali ke sungai melalui tebing. Gelombang yang terus berlangsung yang timbul baik secara alami maupun akibat tindakan manusia atau gerakan kapal juga berkontribusi terjadinya erosi

Material dasar sungai dan tebing sungai berpengaruh terhadap terjadinya erosi tebing sungai, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.10.

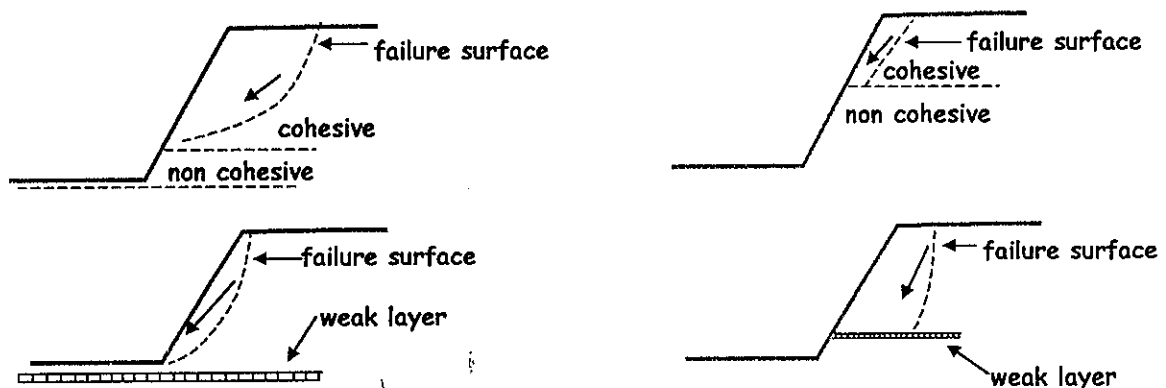
a. Non-cohesive material (ϕ butiran > 0.004 mm)



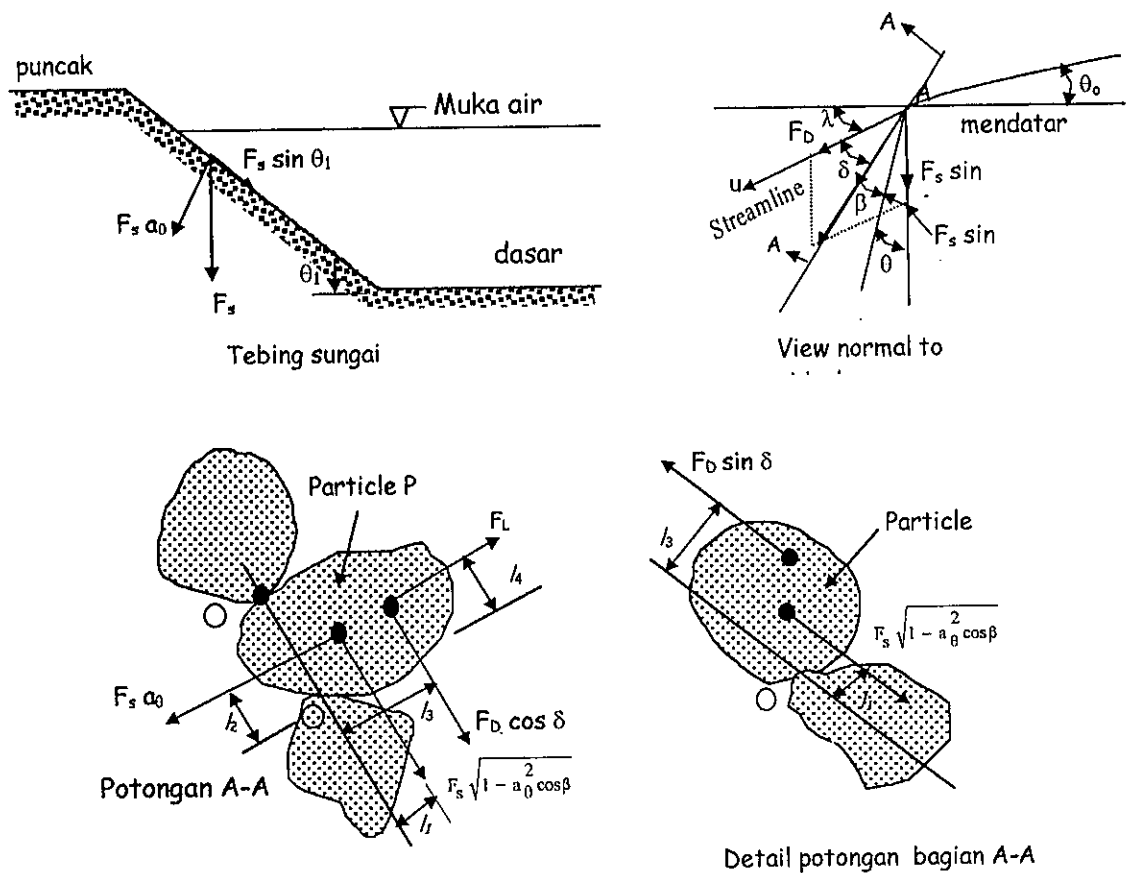
b. Cohesive material (ϕ butiran < 0.004 mm)



c. Composite material



Gambar 2.10 Ilustrasi kelongsoran permukaan tebing sungai Richardson dkk. (1990)



Gambar 2.11 Analisis stabilitas momen dari sebuah partikel pada tebing sungai (Simons & Sentruk, 1992; Julien, 1995)

Gaya yang bekerja pada tebing sungai adalah :

1. Gaya angkat F_L
2. Gaya tarik F_D
3. Gaya apung F_B
4. Berat partikel F_w

Sepanjang sudut kemiringan muka air ke arah hilir adalah kecil, gaya apung dapat dikurangi dari berat partikel yang memberikan gaya tenggelam dari partikel adalah :

$$F_s = F_w - F_B \quad (2.1)$$

Gaya angkat didefinisikan sebagai gaya fluida tegak lurus pada bidang tebing sedangkan gaya tarik yang bekerja sepanjang bidang dalam arah yang sama dengan kecepatan yang mengelilingi partikel.

Secara geometris dapat didefinisikan dengan :

$$a_0 = \sqrt{(\cos^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_0)} \quad (2.2)$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta_0}{\cos \theta_1} \quad (2.3)$$

Gambar 2.11 menunjukkan komponen-komponen dari gaya-gaya tersebut. Berat tenggelam mempunyai komponen ke arah kemiringan tebing, $F_s \sin \theta_0$ satu ke arah bawah, $F_s \sin \theta_0$ dan satu komponen tegak lurus pada bidang $F_s a_0$. Garis aliran berdeviasi dari arah horisontal dari sudut λ sepanjang bidang tebing (λ positif ke arah hulu).

Pada waktu bergerak, partikel mengikuti arah dengan sudut θ dari arah bawah (proyeksi vertikal pada bidang tebing). Stabilitas yang melawan rotasi sebuah partikel menentukan kondisi awal gerakan bilamana keseimbangan momen berkenaan dengan titik rotasi O dipenuhi (Gambar 2.11).

$$I_2 F_s a_0 = I_1 F_s \sqrt{1 - a_0^2} \cos \beta + I_3 F_D \cos \delta + I_4 F_L \quad (2.4)$$

Sudut-sudut δ dan β serta lengan momen I_1, I_2, I_3 dan I_4 ditunjukkan oleh Gambar 2.11.

Dua faktor stabilitas SF_0 dan SF_{01} yang melawan rotasi di sekitar titik-titik O dan O^1 dapat didinifisikan sebagai perbandingan antara momen-momen penahan dengan momen-momen yang menyebabkan gerakan.

$$SF_0 = \frac{I_2 F_S a_0}{I_1 F_S \sqrt{(1-a_0^2 \cos \beta + I_3 F_D \cos \delta + I_4 F_L)}} \quad (2.5)$$

$$SF_{01} = \frac{I_2 F_S a_0 + I_2 F_S \sqrt{(1-a_0^2 \cos \beta)}}{I_3 F_D \cos \delta + I_4 F_L} \quad (2.6)$$

SF_0 sama dengan satu maka didapat bahwa $\tan \theta = I_2 / I_1$. Pembilang dan penyebut dibagi dengan $I_1 F_S$. Persamaan-Persamaan (2.5) dan (2.6) ditransformasikan menjadi :

$$SF_0 = \frac{a_0 \tan \phi}{\eta_1 \tan \phi + \sqrt{(1-a_0^2 \cos \beta)}} \quad (2.7)$$

$$SF_{01} = \frac{a_0 \tan \phi + \sqrt{(1-a_0^2 \cos \beta)}}{\eta_1 \tan \phi} \quad (2.8)$$

$$\eta_1 = M + N \cos \delta \quad (2.9)$$

dimana :

$$M = (I_4 / I_2) (F_L / F_S)$$

$$N = (I_3 / I_2) (F_D / F_S)$$

Variabel η_1 disebut angka stabilitas untuk partikel pada kemiringan lereng tebing. Variabel η_1 berhubungan dengan angka stabilitas $\eta_0 = M + N$ untuk partikel pada permukaan bidang horisontal ($\theta_0 = \theta_1 = \delta = 0$).

Bilamana aliran bersifat turbulen penuh yang melalui permukaan horisontal kasar secara hidrolis, gerakan awal koresponden pada $SF_0 = 1$ atau

$$\eta_1 = \eta_0 \left\{ \frac{(M/N) + \sin(\lambda + \beta + \theta)}{1 + (M/N)} \right\} \quad (2.10)$$

$$\eta_0 = \frac{21\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_m)d_s} \quad (2.11)$$

Pada keadaan normal parameter *Shields* menunjukkan bahwa $\eta_0 = 1$ bila $\tau_* = 0.047$, menguraikan gerakan awal partikel-partikel pada dasar bidang dalam kondisi batas aliran bersifat turbulen penuh.

η_0 diperoleh ketika gaya geser batas τ_0 digantikan oleh kecepatan referensi V_r , kecepatan yang melawan partikel, atau kecepatan rata-rata V . Kecepatan referensi V_r adalah kecepatan pada ketinggian $z = k_s^1$; maka dari persamaan distribusi kecepatan rata-rata logaritmik

$$\tau_0 = p_m u_*^2 = 0.0138 p_m V_r^2 \quad (2.12)$$

apabila kecepatan yang melawan partikel $V_p = 0.17 V_r$

didapat :

$$\tau_0 = 0.026 p_m V_p^2 \quad (2.13)$$

sehingga :

$$\tau_0 = \tau_0^1 = \tau_0^{1.2} = f \frac{\rho_m V^2}{8} = \frac{\rho_m V^2}{(5.75 \log(12.2h/k_s^1))^2} \quad (2.14)$$

dan persamaan alternatif untuk sebuah fungsi dari V_r, V_p dan V adalah :

$$\eta_0 = \frac{0.3V_r^2}{(G-1) g d_s} \quad (2.15)$$

$$\eta_0 = \frac{0.3V_p^2}{(G-1) g d_s} \quad (2.16)$$

$$\eta_0 = \frac{0.3V^2}{(G-1) g d_s (5.75 \log (12.2h/k_s^1))^2} \quad (2.17)$$

Pada kondisi seimbang kedua diberikan oleh arah partikel sepanjang potongan tegak lurus dengan potongan A-A Gambar 2.11 adalah :

$$I_3 F_s \sin \delta = I_1 F_s \sqrt{1-a^2} \sin \beta \quad (2.18)$$

Faktor stabilitas untuk partikel pada kemiringan lereng tebing dapat dihitung dari Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5) setelah memecahkan berturut-turut Persamaan 2.2 dan persamaan (2.19).

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{\cos (\lambda + \theta)}{\frac{(M + N)\sqrt{1-a^2}}{N\eta_0 \tan \phi} + \sin(\lambda + \theta)} \right] \quad (2.19)$$

Untuk pendekatan praktis dapat dipakai $M=N$ (Julien, 1995), karena faktor stabilitas tidak begitu sensitif terhadap rasio M/N . SF_0 dari Persamaan (2.4) dipakai dalam semua kasus bila $\lambda \geq 0$; faktor stabilitas SF_{01} dari Persamaan (2.5) hanya aplikatif bila :

$$\lambda > 1 \text{ dan } I_3 F_D \cos \delta = I_1 F_S \sqrt{1 - a^2} \cos \beta$$

Parameter SF_0 dapat untuk menentukan kestabilan lereng, yaitu :

Partikel dikatakan stabil tak bergerak bila :

$$SF_0 > 1$$

Partikel dikatakan tak stabil bergerak bila :

$$SF_0 < 1$$

Gerakan awal berhubungan dengan $SF_0 = 1$

2.3. Proses pelebaran terusan

Proses pelebaran pada Terusan Randu terjadi karena kondisi tanah di kanan kiri terusan tidak stabil (Tabel 4.2) dan terangkutnya material dasar yang terus menerus sehingga mempengaruhi keseimbangan penampang maka terjadilah longsor pada dinding kanan dan kiri sehingga dimensi saluran menjadi lebih besar, karena dimensi terusan menjadi lebih besar maka debit yang masuk padanya juga bertambah.

Selanjutnya peristiwa tersebut terjadi berulang-ulang makin lama penampang makin besar, debit aliran air yang masuk menjadi semakin besar, kedalaman terusan menjadi dalam tetapi kemiringan dasar terusan menjadi semakin kecil atau semakin landai. Hal tersebut berlangsung selama bertahun-tahun dan akan berhenti pada saat terjadi keseimbangan sungai atau terusan dimaksud.

2.4. Transport Sedimen

Transport sedimen dapat dihitung dengan berbagai cara atau mode. Mode transport dikelompokkan dalam dua golongan :

- a. Angkutan sedimen dasar (*bed load*)
- b. Angkutan sedimen suspensi (*suspended load*)

Secara alamiah tidak ada garis batas antara angkutan sedimen dasar dan angkutan sedimen melayang atau suspensi, namun untuk penurunan formulasi matematis perlu adanya pembedaan antara keduanya. Ada tiga macam keadaan gerakan yang dipakai sebagai acuan pembedaan. Gerakan tersebut berawal dari suatu status keseimbangan gaya-gaya pada partikel yang dikenal dengan kondisi gerak awal (*initiation of motion*) dimana partikel berada dalam ambang batas atau keadaan kritis dari keadaan diam menuju awal gerakan.

1. Apabila nilai kecepatan geser melampaui nilai kritis kecepatan geser untuk gerak awal, maka partikel akan menggelinding atau menggeser atau gabungan keduanya dengan selalu bertumpu pada dasar saluran (*rolling and sliding*)
2. . Apabila nilai kecepatan geser di dasar saluran bertambah, maka partikel akan bergerak sepanjang dasar dengan cara meloncat-loncat /*saltation*.
(Yang , 1973)
3. Apabila nilai kecepatan geser di dasar bertambah besar lagi melampaui kecepatan jatuh partikel, maka partikel sedimen akan terangkat pada suatu kondisi di mana gaya-gaya angkat akibat turbulensi akan sama atau melebihi berat partikel terendam air. Bila keadaan ini terjadi maka partikel akan terangkat dengan cara melayang (*suspended*)

2.4.1. Angkutan sedimen Dasar

Angkutan dasar ini membawa partikel sedimen dengan cara menggelinding, menggeser atau meloncat di dasar perairan. Ada beberapa definisi mengenai mode gerak angkutan dasar antara lain :

- a. Menurut Bagnold (1954) : angkutan dasar adalah peristiwa di mana persentuhan-persentuhan berulang antara partikel dengan dasar saluran sepenuhnya dibatasi oleh pengaruh gaya gravitasi. Apabila kelebihan berat partikel di tahan sepenuhnya oleh gaya impulse akibat turbulensi, maka mekanisme ini dikatakan sebagai angkutan melayang atau suspensi.
- b. Menurut Einstein (1944) : angkutan dasar adalah angkutan partikel sedimen pada lapisan setebal dua kali diameter partikel sedimen tepat di atas permukaan dasar saluran, dengan cara menggelinding, menggeser dan kadang-kadang meloncat sejauh beberapa kali diameter searah aliran. Lapisan dasar dipandang sebagai suatu lapisan di mana proses pencampuran akibat turbulensi sangat kecil dan tidak mempengaruhi status partikel sehingga tidak terbentuk suspensi di lapisan ini. Menurut definisi Einstein, partikel yang meloncat-loncat dengan panjang luncaran melebihi beberapa kali butiran dapat digolongkan sebagai sedimen suspensi. Definisi Einstein ini diikuti oleh beberapa peneliti lain seperti Engelund (1967).

2.4.2. Metode Ackers dan White

Ackers pada tahun 1972 mengembangkan teori untuk transpor sedimen beban total berdasarkan konsep kuat arus Bagnold.(1954). Analisis dimensi dan argumen phisik

dalam penjabaran bentuk dari hubungan fungsional dipakai. Ackers dan White meringkas teori tersebut tahun 1973. Teori mereka dianalisis dengan data laboratorium dan data yang terbatas lapangan. Mereka mengusulkan beban total umum yang menentukan laju transpot dalam 3 parameter tak berdimensi: mobilitas sedimen, ukuran butiran dan transpot sedimen.

Mobilitas sedimen diuraikan oleh rasio antara gaya geser efektif pada satuan luas dari dasar sungai dengan berat basah dari lapisan butiran-butiran (Ackers & White, 1973 dan 1980). Mereka menyatakan bahwa hanya sebagian dari tegangan geser pada dasar sungai yang efektif menyebabkan gerakan sedimen kasar. Untuk sedimen halus, gerakan beban melayang mendominasi dan tegangan geser total memberikan kontribusi secara efektif kepada gerakan sedimen. Oleh karena itu mobilitas sedimen dijelaskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{AWS} = u_*^{C_{AW1}} \left[\frac{u}{\sqrt{32} \log(10 d/d_s)} \right]^{1-C_{AW1}} \quad (2.20)$$

dimana :

$C_{AW1} = 1$ koefisien yang tergantung pada ukuran sedimen yaitu :

$C_{AW1} = 1 \longrightarrow$ bila sedimen halus

$C_{AW1} = 0 \longrightarrow$ bila sedimen kasar

Variabel ukuran butiran tak berdimensi d_* diuraikan oleh eliminasi gaya geser dari 2 parameter Shields; atau dari koefisien tarik (*drag*) dan angka Reynolds dari suatu partikel yang mengendap dengan cara mengeliminasi kecepatan endap; atau dapat dikatakan variabel-variabelnya adalah berat basah yang berdimensi dari butiran, kerapatan fluida, kekentalan (Ackers & White, 1973).

Oleh karena itu variabel umumnya aplikatif untuk

$$d_* = \left[\frac{(G-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (2.21)$$

Maka konsentrasi total sedimen (berdasarkan berat) ditunjukkan oleh

$$C_w = C_{AW2} G \frac{d_s}{d} \left(\frac{u}{u_*} \right)^{C_{AW1}} \left(\frac{C_{AW5}}{C_{AW3}} - 1 \right)^{C_{AW4}} \quad (2.22)$$

di mana :

C_{AW1} , C_{AW2} , C_{AW3} , dan C_{AW4} tergantung dari diameter partikel tak berdimensi d_* .

Hubungan untuk C_{AW1} , C_{AW2} , C_{AW3} , dan C_{AW4} yang diperoleh dari data eksperimen untuk ukuran partikel dengan jangkauan dari 0.04 mm sampai 4.0 mm adalah

Untuk $1.0 < d_* < 60.0$,

$$C_{AW1} = 1.0 - 0.56 \log d_* \quad (2.23)$$

$$\log C_{AW2} = 2.86 \log d_* - (\log d_*)^2 - 3.53 \quad (2.24)$$

$$C_{AW3} = \frac{0.23}{d_*^{1/2}} + 0.14 \quad (2.25)$$

$$C_{AW4} = \frac{9.66}{d_*} + 1.34 \quad (2.25)$$

Untuk $d_* > 60.0$,

$$C_{AW1} = 0, \quad C_{AW2} = 0.025, \quad C_{AW3} = 0.17, \quad C_{AW4} = 1.50$$

Gerakan sedimen awal terjadi pada waktu $C_{AW3} = C_{AW5}$. Kondisi ini sesuai dengan kriteria dari Shield untuk kasar, namun material halus kondisinya berada antara Shields dan White

(Julien, 1995). Untuk gerakan pasir sangat halus metode ini cenderung memberikan perkiraan konsentrasi yang berlebih (*overestimate*).

2.5. Model Regresi Linier

Dua variabel berpasangan (X_i, Y_i) ; $i=1,2,3,\dots,n$, bila dibuat hubungan maka akan dapat merupakan garis kurva linier sederhana dengan dua model persamaan regresi garis lurus sebagai berikut :

$$Y = a_1X + b_1 \quad (2.28)$$

$$X = a_2Y + b_2 \quad (2.29)$$

Dimana :

Y : persamaan garis lurus Y atas X

X : persamaan garis lurus X atas Y

a_1, a_2 : koefisien regresi merupakan koefisien arah dari garis regresi

b_1, b_2 : koefisien regresi merupakan titik potong dari garis regresi

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil maka besarnya koefisien a_1, a_2, b_1, b_2 dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.30)$$

$$b_1 = \bar{Y} - a_1(\bar{X}) \quad (2.31)$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.32)$$

$$b_2 = X - a_2 (Y) \quad (2.33)$$

dimana :

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

Besarnya koefisien korelasi yang menunjukkan derajat hubungan antara variabel Y_i dan X_i adalah :

$$R = (a_1)(a_2)^{1/2} \quad (2.34)$$

Dan dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2)(\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2)}} \quad (2.35)$$

Besarnya koefisien penentu atau koefisien determinasi (*determination coefficient*), yang menunjukkan perbedaan varian dari data pengukuran Y_i dan varian dari nilai pada garis persamaan regresi untuk nilai X adalah :

$$R^2 = (a_2)(a_1) \quad (2.36)$$

Untuk persamaan regresi Y terhadap X , nilai R^2 dapat dihitung sebagai

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2} \quad (2.37)$$

Nilai residu adalah merupakan ukuran perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai dari persamaan regresi. Deviasi standart dari nilai residu dapat dihitung dengan rumus

$$\sigma_x = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{1/2} \quad (2.38)$$

$$\sigma_y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{(n-1)} \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

Perhitungan koefisien regresi a_1 dan a_2 dapat dihitung dengan koefisien korelasi R sebagai berikut :

$$a_1 = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (2.40)$$

$$a_2 = R \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad (2.41)$$

Persamaan garis lurus Y pada X , yaitu persamaan untuk meramal Y jika X diketahui menjadi

$$Y = \bar{Y} + R \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X - \bar{X}) \quad (2.42)$$

Persamaan garis lurus X pada Y , yaitu persamaan untuk meramal X jika Y diketahui menjadi

$$X = \bar{X} + R \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (Y - \bar{Y}) \quad (2.43)$$

Persamaan garis lurus memerlukan nilai rata rata dari variabel Y, X, Deviasi standart dari X dan Y serta koefisien korelasi, sehingga dapat diketahui bahwa :

- a. Persamaan regresi selalu melalui titik (X,Y)
- b. Apabila (X_i, Y_i) mempunyai koefisien korelasi =1 maka persamaanya akan berimpit .
- c. Apabila (X_i, Y_i) mempunyai koefisien korelasi =0 maka persamaanya akan saling tegak lurus
- d. Apabila (X_i, Y_i) mempunyai koefisien korelasi yang terletak antara -1 dan 0 atau 0 dan +1 maka persamaanya membuat sudut tertentu .

2.6. Pengambilan Data

Data debit, lebar saluran dan tinggi aliran pada studi ini adalah data yang diambil dari Pusat Penelitian Bangunan Pengairan (Puslitbang) Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah dahulu disebut Departement Pekerjaan Umum di Bandung,

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam melaksanakan pembahasan studi ini data diperoleh dari Puslitbang Pengairan dan Hidrolika Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah dahulu Departemen Pekerjaan Umum di Bandung (tahun 1998), serta studi pustaka dan data di departemen yang terkait maupun literatur literatur yang berhubungan dengan masalah hidrolika, mekanika tanah dan tranpor sedimen yang berkaitan dengan studi tersebut.

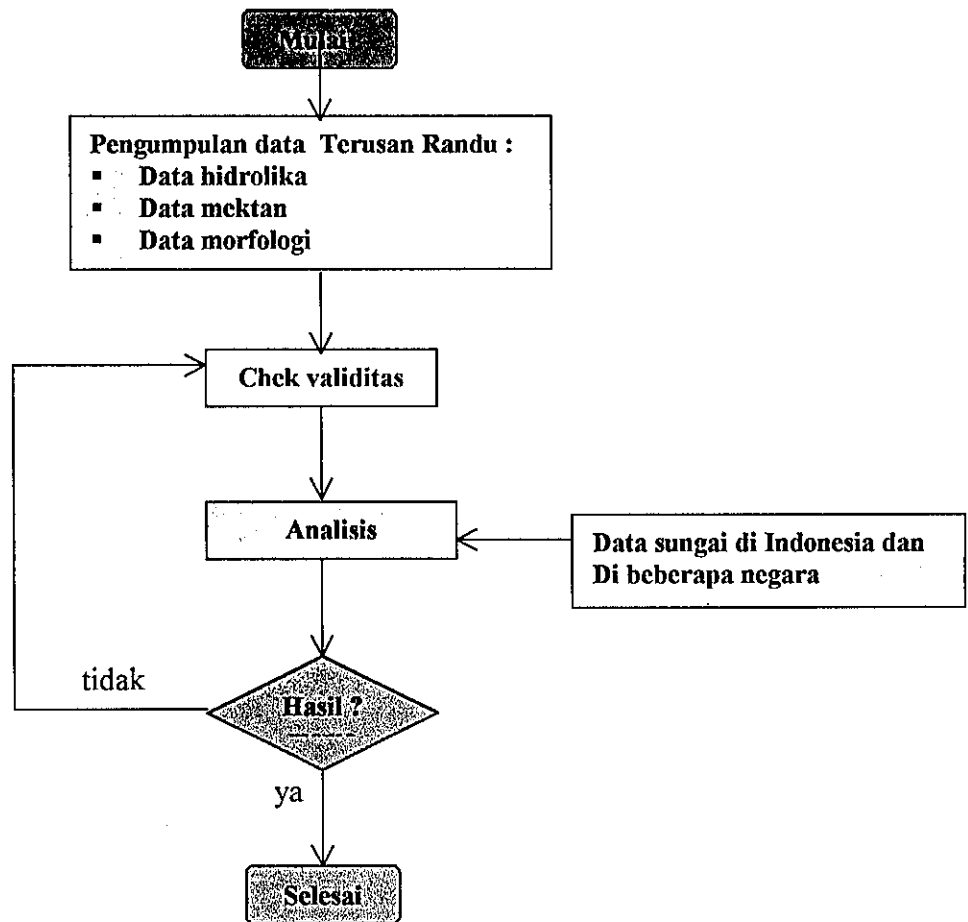
Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, 3.2, dan 3.3.

Secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut :

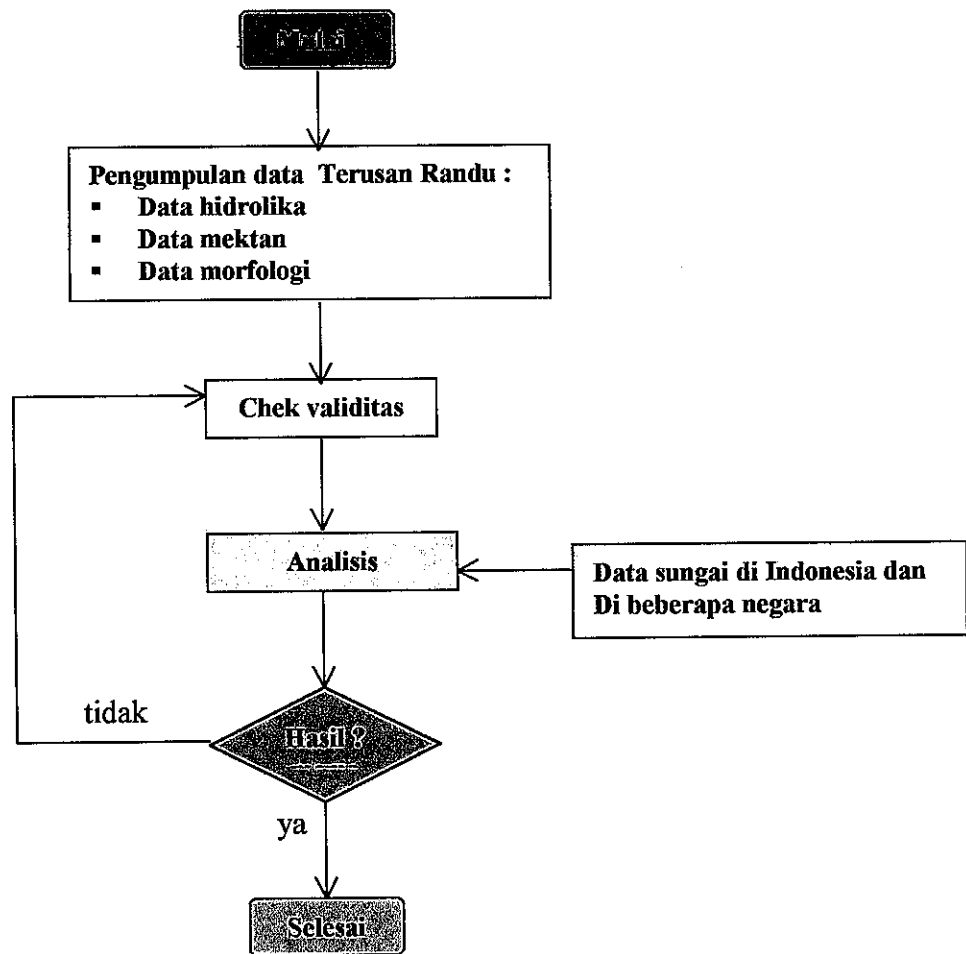
Gambar 3.1 Adalah Bagan alir (*Flow Char*)t analisis perkembangan lebar Terusan Randu secara umum dan secara garis besarnya.

Gambar 3.2 Adalah Bagan alir (*Flow Chart*) analisis Terusan Randu secara detail dimulaidari pengumpulan data Terusan Randu, yaitu data: Ketinggian muka air(h), debit (Q) dan lebar Terusan Randu (W) kemudian W dicari dengan pendekatan *Optimasi nonlinear* dan validasi data sungai di beberapa negara dan hasilnya dievaluasi dengan metode Ackers - White

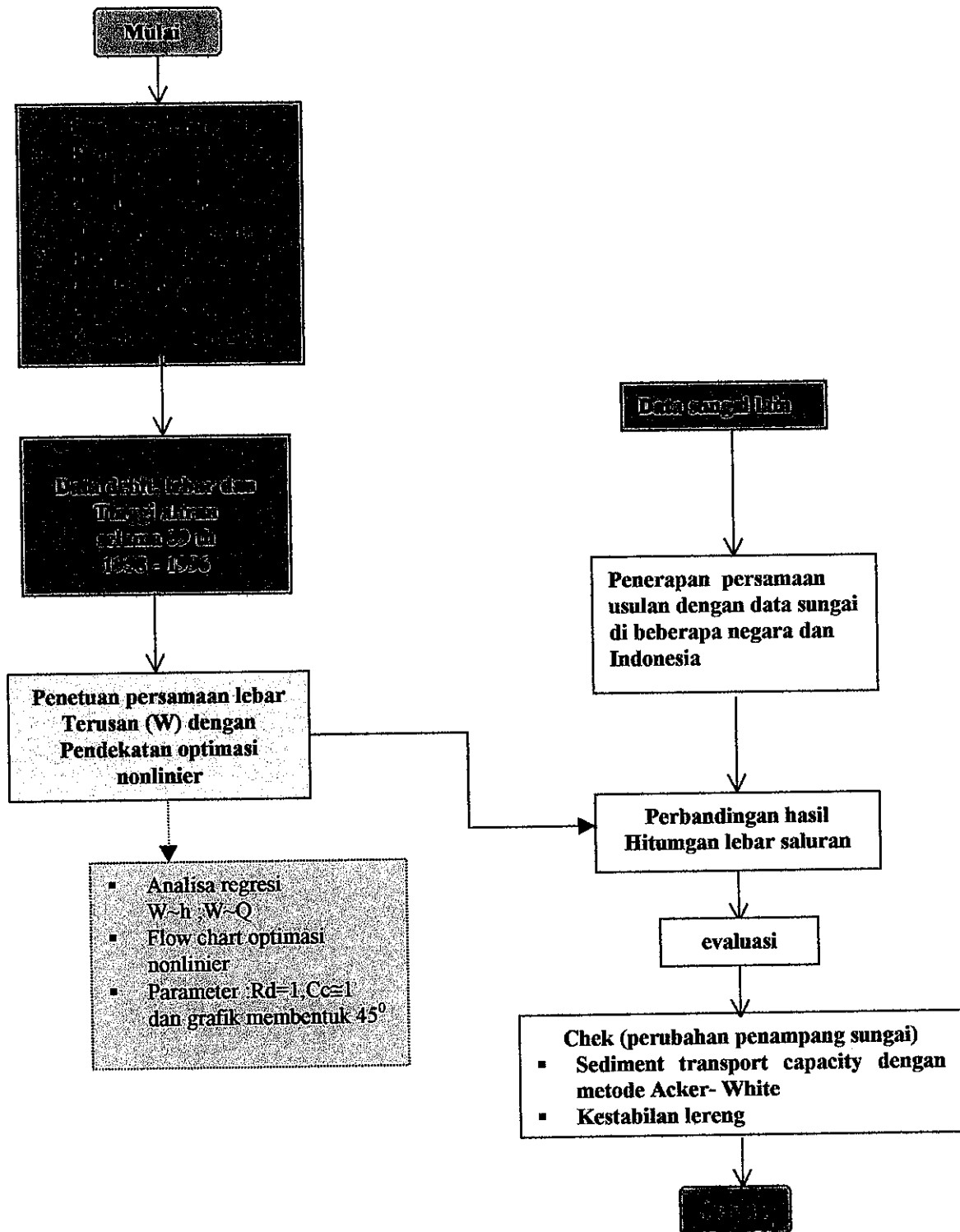
Gambar 3.3 Adalah Bagan alir (*Flow Chart*) pencarian formula lebar terusan (W) dengan pedekatan *Optimasi nonlinear*.



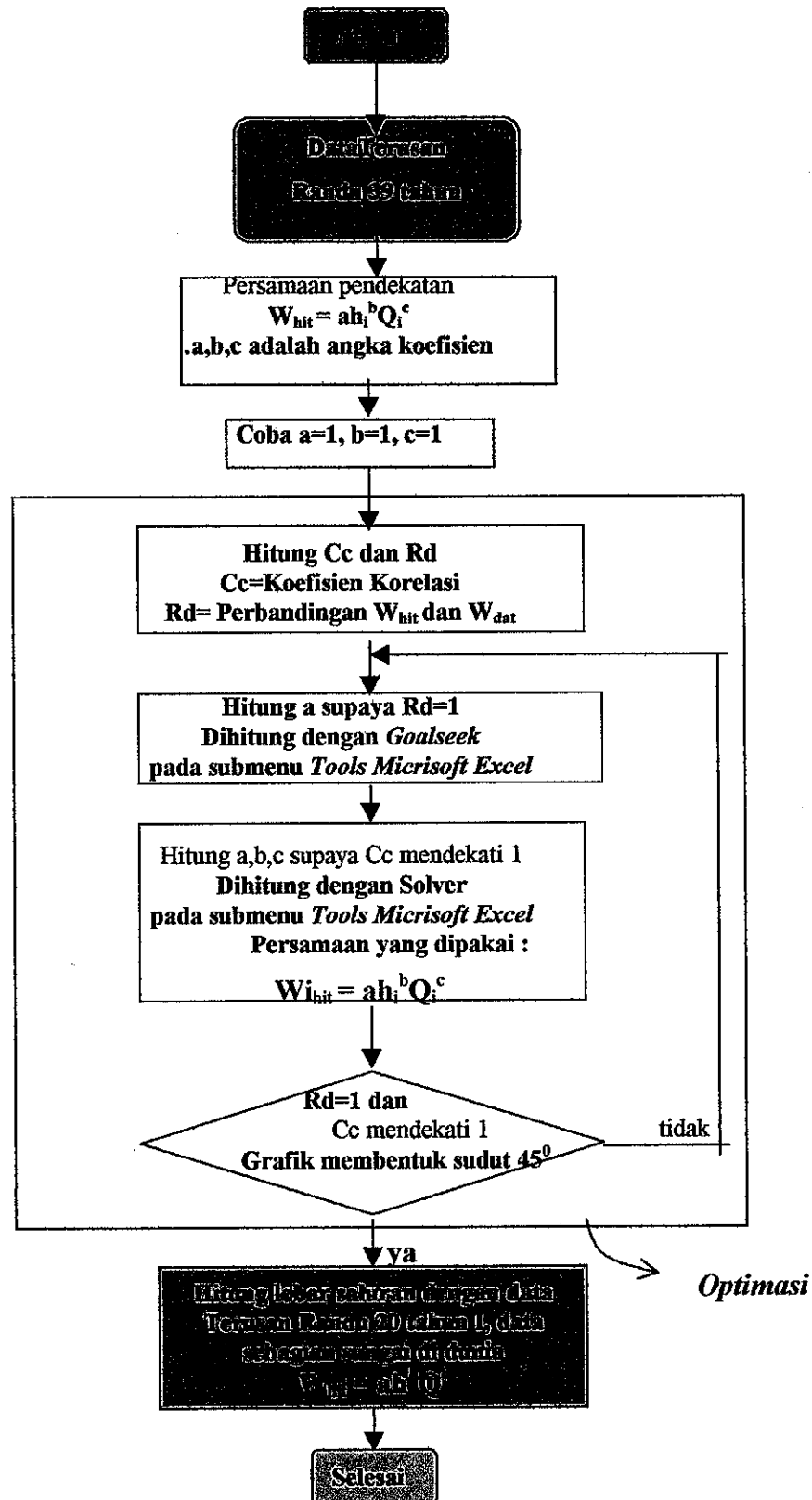
Gambar 3 1. Flow chart analisis perkembangan lebar terusan Randu



Gambar 3 1. Flow chart analisis perkembangan lebar terusan Randu



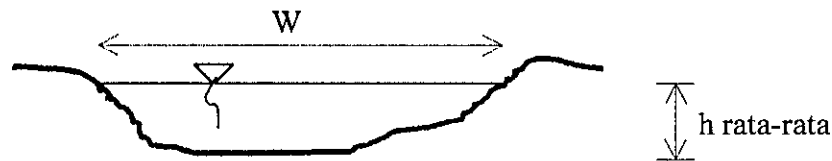
Gambar 3.2 Detail Flow chart analisis Terusan Randu



Gambar 3.3 Flow chart pendekatan optimasi non linear (Non linear Optimation).
Untuk mencari lebar terusan (W)

3.2. Definisi lebar (W), debit (Q) dan tinggi aliran (h)

Yang dimaksud dengan lebar (W) pada studi/formula ini adalah lebar ambang atas permukaan air pada *cross section* sebuah sungai (Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Penampang sungai

Yang dimaksud dengan debit (Q) pada studi ini adalah Q rata-rata. Sedangkan yang dimaksud dengan tinggi aliran (h) adalah tinggi aliran rata-rata.

3.3. Out Put (keluaran)

Keluaran dari studi ini adalah formula atau rumusan untuk mencari lebar saluran apabila diketahui debit dan tinggi aliran pada suatu saluran atau sungai.

Pendekatan rumus yang dipakai adalah pemodelan optimasi nonlinier dari data terusan Randu yang meliputi data debit dan tinggi aliran. *Optimasi nonlinier* ini menggunakan *submenu Solver* pada *microsoft Excel*.

BAB IV ANALISIS DATA

4.1. Data lapangan

Data lapangan yang digunakan untuk penelitian ini adalah data terusan Randu seperti pada Tabel 4.1 dibawah dan data beberapa sungai di dunia (Lampiran 1).

Tabel 4.1 Data terusan Randu

No	Tahun	Tinggi aliran h (m)	Debit Q (m ³ /dt)	Lebar saluran W (m)
1	1958	0,80	0,180	2,86
2	1959	1,00	0,229	,3,1
3	1960	0,99	0,267	3,6
4	1961	0,94	0,791	5,9
5	1962	1,07	0,881	6,1
6	1963	1,10	0,942	6,3
7	1964	1,10	1,234	7,2
8	1965	1,10	1,450	8,4
9	1966	1,11	6,104	14,5
10	1967	1,30	6,485	14,5
11	1968	1,35	9,520	15,7
12	1969	1,35	10,250	16,2
13	1970	1,30	13,600	17,6
14	1971	1,26	25,371	29,6
15	1972	1,47	36,915	33,7
16	1973	1,35	35,200	37,6
17	1974	1,50	66,238	42,3
18	1975	1,41	65,495	45,5
19	1976	1,40	72,500	50,2
20	1977	1,40	92,500	55,1
21	1978	1,60	11,12	55,90
22	1979	1,60	12,20	56,10
23	1980	1,60	10,54	56,30
24	1981	1,62	10,20	56,50
25	1982	1,59	12,32	73,20
26	1983	1,67	15,61	74,40
27	1984	1,72	18,12	79,60
28	1985	1,68	196,02	82,60
29	1986	1,70	242,02	82,60
30	1987	1,75	258,86	82,70
31	1988	1,90	269,80	90,70
32	1989	1,92	278,91	91,20
33	1990	1,98	297,36	94,30
34	1991	2,00	311,65	95,20
35	1992	2,12	327,85	95,80
36	1993	2,21	364,60	96,30
37	1994	2,26	384,37	96,80
38	1995	2,25	432,97	97,50
39	1996	2,30	431,05	98,30

Sumber data : Puslitbang Pengairan Bandung (1998)

4.2. Analisa data

4.2.1. Analisa kestabilan lereng

Hasil analisa terhadap kestabilan lereng pada terusan Randu dapat dilihat pada Tabel 4.2 Detail perhitungan dapat di lihat pada lampiran 4.

Tabel 4.2 Perhitungan kestabilan lereng

No	Sudut kemiringan lereng (derajat)	SF ₀ Faktor keamanan	Kestabilan
1	5	1,0093	Stabil
2	10	0,9252	Tidak stabil
3	15	0,8314	Tidak stabil
4	20	0,7400	Tidak stabil
5	25	0,6556	Tidak stabil
6	30	0,5791	Tidak stabil
7	35	0,5101	Tidak stabil
8	40	0,4475	Tidak stabil
9	45	0,3903	Tidak stabil

Kondisi tanah di kedua sisi terusan Randu adalah tidak stabil termasuk kondisi nonkohesif

Parameter SF₀ dapat untuk menentukan kestabilan lereng, yaitu :

Kondisi tanah di kedua sisi terusan Randu adalah tidak stabil termasuk kondisi nonkohesif.

Parameter SF₀ dapat untuk menentukan kestabilan lereng, yaitu :

Partikel dikatakan stabil tak bergerak bila :

$$SF_0 > 1$$

Partikel dikatakan tak stabil bergerak bila :

$$SF_0 < 1$$

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi tanah tebing pada kedua sisi terusan ini mengalami erosi apabila sudut kemiringan lereng antara 10^0 s/d 45^0 , dan hanya bila pada kondisi lereng 5^0 tidak mengalami erosi.

4.2.2. Analisa Sediment transport

Analisa sediment transport dihitung dengan menggunakan metode Acker-White, hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Data perhitungan sediment transpot dengan metode Acker-White (1973).

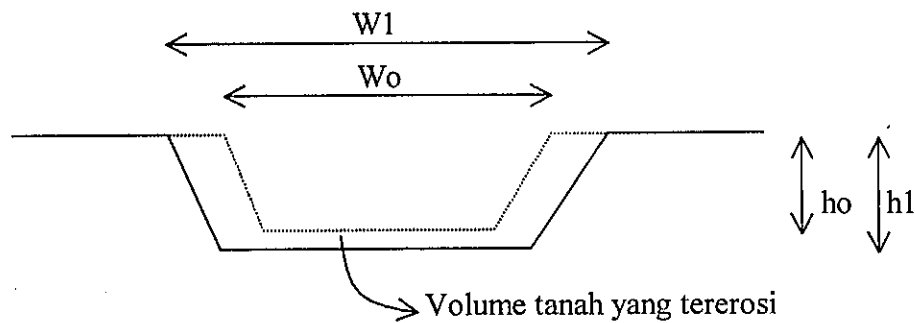
No	Tahun	Debit Aliran m^3/s	Lebar Terusan w M	Tinggi Aliran H M	Kecepatan Aliran V M/s	Diameter butiran d_s mm	Kemiringan Dasar saluran S_0 m/m
1	1958	0,180	2,86	0,80	1,35	0,2	0,001764706
2	1959	0,229	3,10	1,00	1,35	0,2	0,001764706
3	1960	0,267	3,60	0,99	1,35	0,2	0,001764706
4	1961	0,791	5,90	0,94	1,35	0,2	0,001764706
5	1962	0,881	6,10	1,07	1,35	0,2	0,001764706
6	1963	0,942	6,30	1,10	1,35	0,2	0,001764706
7	1964	1,234	7,20	1,10	1,35	0,2	0,001764706
8	1965	1,450	8,40	1,10	1,35	0,2	0,001764706
9	1966	6,104	14,50	1,11	1,35	0,2	0,001764706
10	1967	6,485	14,50	1,30	1,35	0,2	0,001764706
11	1968	9,520	15,70	1,35	1,35	0,2	0,001764706
12	1969	10,250	16,20	1,35	1,35	0,2	0,001764706
13	1970	13,600	17,60	1,30	1,35	0,2	0,001764706
14	1971	25,371	29,60	1,26	1,35	0,2	0,001764706
15	1972	36,915	33,70	1,47	1,35	0,2	0,001764706
16	1973	35,200	37,60	1,35	1,35	0,2	0,001764706
17	1974	66,238	42,30	1,50	1,35	0,2	0,001764706
18	1975	65,495	45,50	1,41	1,35	0,2	0,001764706
19	1976	72,500	50,20	1,40	1,35	0,2	0,001764706
20	1977	92,500	55,10	1,40	1,35	0,2	0,001764706
21	1978	113,12	55,90	1,60	1,35	0,2	0,001764706
22	1979	121,20	56,10	1,60	1,35	0,2	0,001764706
23	1980	104,54	56,30	1,60	1,35	0,2	0,001764706
24	1981	106,20	56,50	1,62	1,35	0,2	0,001764706
25	1982	123,32	73,20	1,59	1,35	0,2	0,001764706
26	1983	152,61	74,40	1,67	1,35	0,2	0,001764706
27	1984	188,12	79,60	1,72	1,35	0,2	0,001764706
28	1985	196,02	82,60	1,68	1,35	0,2	0,001764706
29	1986	242,02	82,60	1,70	1,35	0,2	0,001764706
30	1987	258,86	82,70	1,75	1,35	0,2	0,001764706
31	1988	269,80	90,70	1,90	1,35	0,2	0,001764706
32	1989	278,91	91,20	1,92	1,35	0,2	0,001764706
33	1990	297,36	94,30	1,98	1,35	0,2	0,001764706
34	1991	311,65	95,20	2,00	1,35	0,2	0,001764706
35	1992	327,85	95,80	2,12	1,35	0,2	0,001764706
36	1993	364,60	96,30	2,21	1,35	0,2	0,001764706
37	1994	384,37	96,80	2,26	1,35	0,2	0,001764706
38	1995	432,97	97,50	2,25	1,35	0,2	0,001764706
39	1996	431,05	98,30	2,30	1,35	0,2	0,001764706

Tabel 4.4 Hasil perhitungan sedimen trasport dengan metode Acker-White(1973)

Jenis butiran	Diameter butiran d_s mm	Aliran tunak seragam $S_f = S_w$	$\tau_o = \rho_w g R_h S_f$ asumsi $R_h = h$ N/m^2	u_* m/s	Kinematic viscosity ν m^2/s	ω m/s	v m/s	Debit satuan $q = Q/w$ m^3/s	$\{(G-1)gd_s\}^{0.5}$	$\frac{v}{\sqrt{32 \log(10) (d_s/d_s)}}$	C_{AW1}	C_{AW2}	C_{AW3}	C_{AW4}	C_{AW5}	C_w	C_{pan}	mg/l	kg/m ³	Berat kg
f. sand	0.200	0.0017647	13.85	0.118	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.06	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.61	0.0162	16.196	18.012.666	18.013	52.741
f. sand	0.200	0.0017647	17.31	0.132	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.07	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.73	0.017	17.005	19.018.617	19.019	77.976
f. sand	0.200	0.0017647	17.14	0.131	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.07	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.73	0.017	16.969	18.973.809	18.974	86.219
f. sand	0.200	0.0017647	16.27	0.128	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.13	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.70	0.0168	16.783	18.741.988	18.742	120.503
f. sand	0.200	0.0017647	18.52	0.136	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.14	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.77	0.0172	17.245	19.318.988	19.319	148.213
f. sand	0.200	0.0017647	19.04	0.138	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.15	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.79	0.0173	17.342	19.441.098	19.441	158.251
f. sand	0.200	0.0017647	19.04	0.138	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.17	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.79	0.0173	17.342	19.441.098	19.441	177.497
f. sand	0.200	0.0017647	19.22	0.139	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.42	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.79	0.0173	17.342	19.441.098	19.441	203.159
f. sand	0.200	0.0017647	22.51	0.150	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.45	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.89	0.0179	17.920	20.170.582	20.171	337.549
f. sand	0.200	0.0017647	23.37	0.153	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.61	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.91	0.018	18.048	20.333.382	20.333	414.304
f. sand	0.200	0.0017647	23.37	0.153	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.63	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.91	0.018	18.048	20.333.382	20.333	468.024
f. sand	0.200	0.0017647	22.51	0.150	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.77	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.91	0.018	18.048	20.333.382	20.333	481.749
f. sand	0.200	0.0017647	21.81	0.148	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.86	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.87	0.0178	17.813	20.035.202	20.035	779.041
f. sand	0.200	0.0017647	25.45	0.160	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.10	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.96	0.0183	18.335	20.697.945	20.698	1.070.082
f. sand	0.200	0.0017647	23.37	0.153	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	0.94	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.91	0.018	18.048	20.333.382	20.333	1.069.180
f. sand	0.200	0.0017647	25.97	0.161	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.57	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.94	0.0182	18.195	20.520.071	20.520	1.357.258
f. sand	0.200	0.0017647	24.41	0.156	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.44	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.93	0.0182	18.171	20.489.547	20.490	1.480.165
f. sand	0.200	0.0017647	24.24	0.156	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.68	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	1.93	0.0182	18.171	20.489.547	20.490	1.620.723
f. sand	0.200	0.0017647	27.70	0.166	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.02	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.02	0.0186	18.616	21.056.840	21.057	1.937.229
f. sand	0.200	0.0017647	27.70	0.166	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.16	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.02	0.0186	18.616	21.056.840	21.057	1.943.967
f. sand	0.200	0.0017647	28.05	0.167	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.88	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.02	0.0186	18.616	21.056.840	21.057	1.950.706
f. sand	0.200	0.0017647	27.53	0.166	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	1.88	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.02	0.0187	18.657	21.109.122	21.109	1.987.517
f. sand	0.200	0.0017647	28.91	0.170	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.05	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.01	0.0186	18.595	21.030.421	21.030	2.500.856
f. sand	0.200	0.0017647	29.78	0.173	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.36	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.06	0.0188	18.757	21.236.696	21.237	2.697.844
f. sand	0.200	0.0017647	29.08	0.171	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.37	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.06	0.0188	18.757	21.236.696	21.237	2.987.634
f. sand	0.200	0.0017647	29.43	0.172	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.93	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.06	0.0188	18.757	21.236.696	21.237	3.010.451
f. sand	0.200	0.0017647	30.30	0.174	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	2.97	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.06	0.0189	18.815	21.311.182	21.311	3.054.105
f. sand	0.200	0.0017647	32.89	0.181	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.13	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.13	0.0192	19.173	21.772.501	21.773	3.167.393
f. sand	0.200	0.0017647	33.24	0.182	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.06	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.14	0.0192	19.207	21.815.574	21.816	3.304.654
f. sand	0.200	0.0017647	34.28	0.185	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.15	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.17	0.0193	19.304	21.941.794	21.942	3.482.861
f. sand	0.200	0.0017647	34.62	0.186	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.27	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.17	0.0193	19.304	21.941.794	21.942	3.900.415
f. sand	0.200	0.0017647	36.70	0.192	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.42	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.21	0.0195	19.520	22.220.109	22.220	4.612.681
f. sand	0.200	0.0017647	38.76	0.196	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.79	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.24	0.0196	19.649	22.388.178	22.388	4.273.476
f. sand	0.200	0.0017647	39.12	0.198	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	3.97	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.25	0.0197	19.718	22.478.207	22.478	4.874.065
f. sand	0.200	0.0017647	38.95	0.197	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	4.44	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.25	0.0197	19.705	22.460.384	22.460	5.032.322
f. sand	0.200	0.0017647	39.82	0.200	1.76E-06	3.47	0.018	1.35	4.38	0.05	0.70	0.0053	0.263413	4.121263	2.27	0.0198	19.773	22.548.607	22.549	5.040.953
																				Jumlah
																				78.166.2

Tabel 4.5 Berat tanah yang terangkut tiap tahun

No	Tahun	Lebar Terusan w m	Tinggi Aliran H M	Kemiringan Lereng M	Luas Aliran A M2	Berat tanah Yang tererosi B kg	Berat tanah Kumulatif B Kg
1	1958	2,86	0,80	1	2,93		
2	1959	3,10	1,00	1	4,10	1875,2	1875,20
3	1960	3,60	0,99	1	4,54	710,56	2585,76
4	1961	5,90	0,94	1	6,43	3016,80	5602,56
5	1962	6,10	1,07	1	7,67	1987,68	7590,24
6	1963	6,30	1,10	1	8,14	748,96	8339,20
7	1964	7,20	1,10	1	9,13	1584,00	923,20
8	1965	8,40	1,10	1	10,45	2112,00	12035,20
9	1966	14,50	1,11	1	17,33	11003,36	23038,56
10	1967	14,50	1,30	1	20,54	5140,64	28179,20
11	1968	15,70	1,35	1	23,02	3964,00	32143,20
12	1969	16,20	1,35	1	23,69	1080,00	33233,20
13	1970	17,60	1,30	1	24,57	1404,00	34627,20
14	1971	29,60	1,26	1	38,88	22901,76	57528,96
15	1972	33,70	1,47	1	51,70	20506,08	78035,04
16	1973	37,60	1,35	1	52,58	1412,16	79447,20
17	1974	42,30	1,50	1	65,70	20988,00	100435,20
18	1975	45,50	1,41	1	66,14	708,96	101144,16
19	1976	50,20	1,40	1	72,24	9755,04	110899,20
20	1977	55,10	1,40	1	79,10	10976,00	121875,20
21	1978	55,90	1,60	1	92,00	20640,00	142515,20
22	1979	56,10	1,60	1	92,32	512,00	143027,20
23	1980	56,30	1,60	1	92,64	512,00	143539,20
24	1981	56,50	1,62	1	94,15	2423,04	145962,20
25	19-82	73,20	1,59	1	118,92	39618,72	185580,96
26	1983	74,40	1,67	1	127,04	12993,28	198574,24
27	1984	79,60	1,72	1	139,87	20533,6,00	219107,24
28	1985	82,60	1,68	1	141,59	2752,00	221859,24
29	1986	82,60	1,70	1	143,31	2751,36	224610,60
30	1987	82,70	1,75	1	147,79	7164,00	231774,60
31	1988	90,70	1,90	1	175,94	45044,00	276818,60
32	1989	91,20	1,92	1	178,79	4560,64	295764,00
33	1990	94,30	1,98	1	190,63	18950,40	314719,40
34	1991	95,20	2,00	1	194,40	6024,96	320744,36
35	1992	95,80	2,12	1	207,59	19172,84	339197,20
36	1993	96,30	2,21	1	217,71	1618,72	342027,84
37	1994	96,80	2,26	1	223,88	9869,60	343640,56
38	1995	97,50	2,25	1	224,44	899,04	353516,16
39	1996	98,30	2,30	1	231,38	11108,00	354415,20
Jumlah						365.523,20	365.523,20



Gambar 4.1 Skema penampang tanah tererosi

Volume tanah yang tererosi adalah volume tanah sesudah terjadi pelebaran dikurangi volume tanah awal.

Setelah mengevaluasi permasalahan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

:

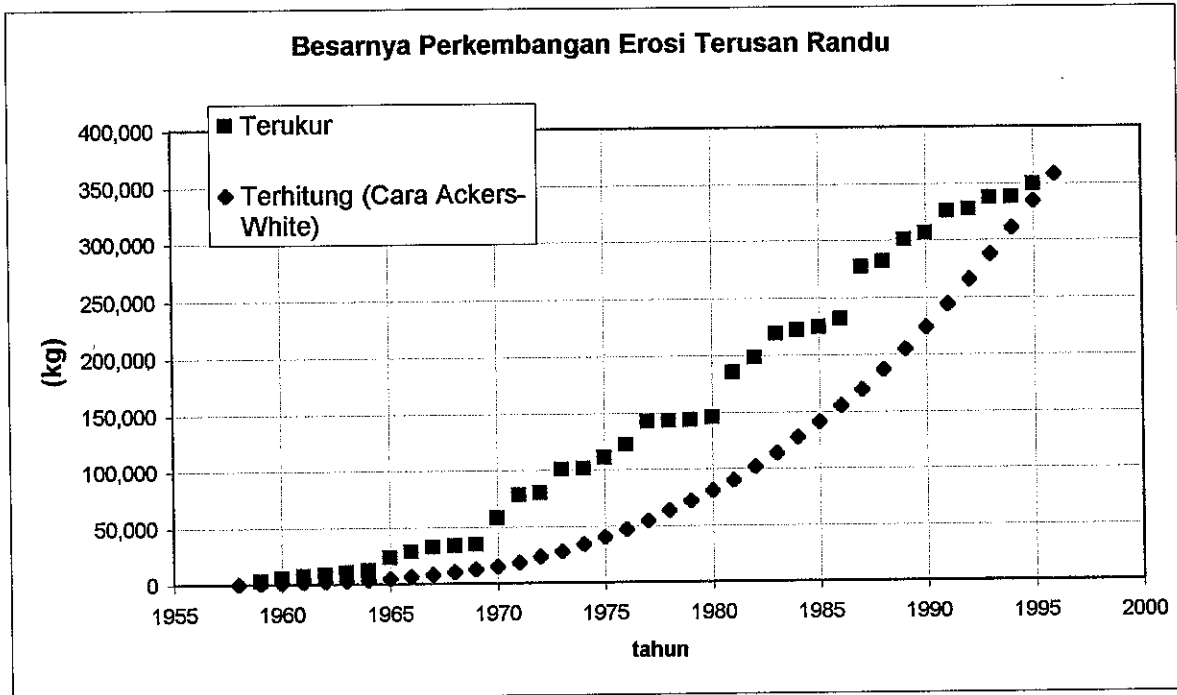
- Cek terhadap kestabilan tebing terusan menunjukkan bahwa terusan mengalami perubahan lebar yang berjalan terus menerus hingga terjadi rezim sungai. Sedangkan penyebab terjadinya pelebaran terusan yang terjadi secara alamiah yaitu terkikisnya tebing terusan karena tidak stabilnya lereng tebing.

- Volume tanah sebelum tererosi adalah 365.523,20 kg

Jumlah seluruh sedimen terangkut atau sedimen transport dari perhitungan dengan menggunakan metode Acker-White adalah 358.275,4 kg.

Perbandingan jumlah sedimen yang terangkut antara perhitungan dengan menggunakan metode Acker-White dibandingkan dengan volume tanah yang tererosi adalah :

$$\frac{358.275,4 \text{ kg.}}{365.523,20 \text{ kg}} \times 100 \% = 98 \%$$



Gambar 4.2 Hubungan antara berat tanah terukur dengan terhitung Terusan Randu Transpot sedimen metode Acker-White

4.2.2. Analisis regresi

Hasil analisa regresi dibuat dalam tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Korelasi antara tinggi aliran dan lebar saluran .

No	Tinggi aliran h (m)	Lebar saluran W (m) W 92,39 h – 91,185
1	0,80	2,86
2	1,00	3,10
3	0,99	3,60
4	0,94	5,90
5	1,07	6,10
6	1,10	6,30
7	1,10	7,20
8	1,10	8,40
9	1,11	14,50
10	1,30	14,50
11	1,35	15,70
12	1,35	16,20
13	1,30	17,60
14	1,26	29,60
15	1,47	33,70
16	1,35	37,60
17	1,50	42,30
18	1,41	45,50
19	1,40	50,20
20	1,40	55,10
21	1,60	55,90
22	1,60	56,10
23	1,60	56,30
24	1,62	56,50
25	1,59	73,20
26	1,67	74,40
27	1,72	79,60
28	1,68	82,60
29	1,70	82,60
30	1,75	82,70
31	1,90	90,70
32	1,92	91,20
33	1,98	94,30
34	2,00	95,20
35	2,12	95,80
36	2,21	96,30
37	2,26	96,80
38	2,25	97,50
39	2,30	98,30

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics
 Multiple R 0.948542
 R Square 0.899732
 Observations 39

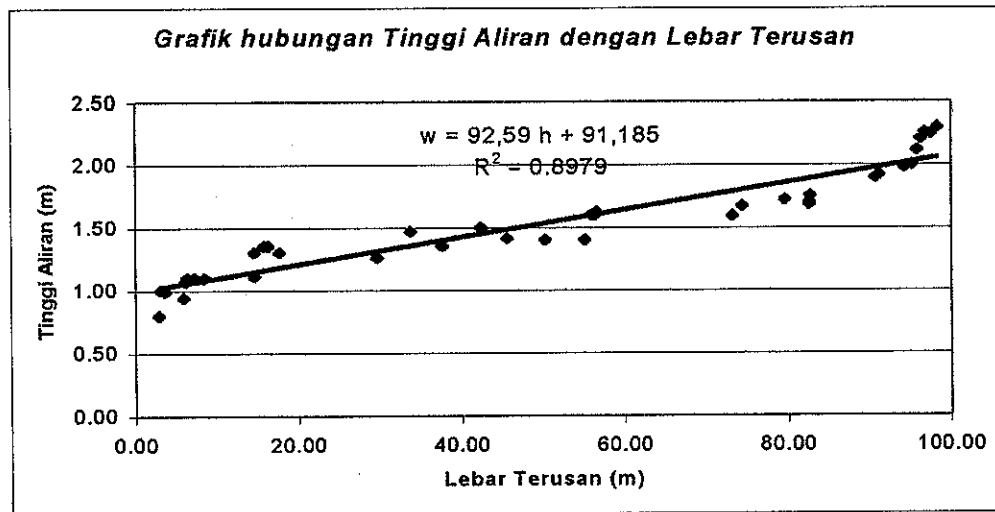
Secara hidrolis ketinggian aliran (h) tidak ada korelasinya dengan lebar (W), tetapi dalam data tersebut terlihat bahwa semakin besar W semakin dalam pula ketinggian alirannya.

Tabel 4.7 Korelasi antara debit aliran dan lebar terusan.

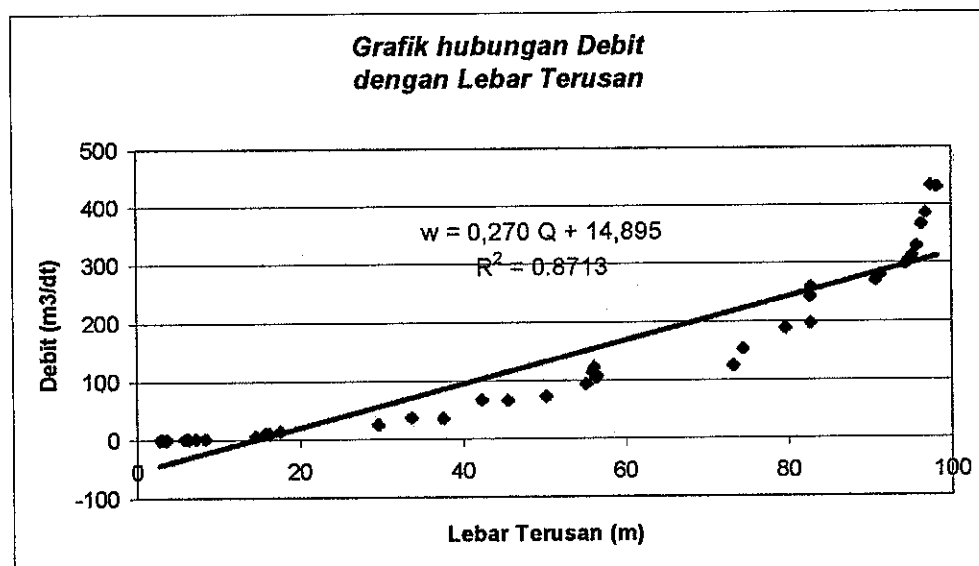
No	Debit Q (m3/dt)	Lebar saluran W (m) $W = 0,270 Q + 14,895$
1	0,180	2,86
2	0,229	3,10
3	0,267	3,60
4	0,791	5,90
5	0,881	6,10
6	0,942	6,30
7	1,234	7,20
8	1,450	8,40
9	6,104	14,50
10	6,485	14,50
11	9,520	15,70
12	10,250	16,20
13	13,600	17,60
14	25,371	29,60
15	36,915	33,70
16	35,200	37,60
17	66,238	42,30
18	65,495	45,50
19	72,500	50,20
20	92,500	55,10
21	113,12	55,90
22	121,20	56,10
23	104,54	56,30
24	106,20	56,50
25	123,32	73,20
26	152,61	74,40
27	188,12	79,60
28	196,02	82,60
29	242,02	82,60
30	258,86	82,70
31	269,80	90,70
32	278,91	91,20
33	297,36	94,30
34	311,65	95,20
35	327,85	95,80
36	364,60	96,30
37	384,37	96,80
38	432,97	97,50
39	431,05	98,30

SUMMARY
OUTPUT

Regression Statistics
Multiple R 0.9334401
R Square 0.8713103
Observations 39



Gambar 4.3 Grafik hubungan tinggi aliran dengan lebar terusan



Gambar 4.4 Grafik hubungan debit aliran dengan lebar terusan

Tabel 4.8 Analisis data

$W_{hit} = ah^bQ^c$

$a = 1,00$

$b = 1,00$

$c = 1,00$

No	Tahun	H (m)	Q (m ³ /dt)	W _{dat} (m)	W _{hit} (m)	W _{hit} / W _{dat}
1	1958	0,80	0,180	2,86	0,14	0,05
2	1959	1,00	0,229	3,1	0,23	0,07
3	1960	0,99	0,267	3,6	0,26	0,07
4	1961	0,94	0,791	5,9	0,74	0,13
5	1962	1,07	0,881	6,1	0,94	0,15
6	1963	1,10	0,942	6,3	1,04	0,16
7	1964	1,10	1,234	7,2	1,36	0,19
8	1965	1,10	1,450	8,4	1,60	0,19
9	1966	1,11	6,104	14,5	6,78	0,47
10	1967	1,30	6,485	14,5	8,43	0,58
11	1968	1,35	9,520	15,7	12,85	0,82
12	1969	1,35	10,250	16,2	13,84	0,85
13	1970	1,30	13,600	17,6	17,68	1,00
14	1971	1,26	25,371	29,6	31,97	1,08
15	1972	1,47	36,915	33,7	54,27	1,61
16	1973	1,35	35,200	37,6	47,52	1,26
17	1974	1,50	66,238	42,3	99,36	2,35
18	1975	1,41	65,495	45,5	92,35	2,03
19	1976	1,40	72,500	50,2	101,50	2,02
20	1977	1,40	92,500	55,1	129,50	2,35
21	1978	1,60	113,12	55,90	181,00	3,24
22	1979	1,60	121,20	56,10	193,93	3,46
23	1980	1,60	104,54	56,30	167,26	2,97
24	1981	1,62	106,20	56,50	172,05	3,05
25	1982	1,59	123,32	73,20	196,08	2,68
26	1983	1,67	152,61	74,40	254,87	3,43
27	1984	1,72	188,12	79,60	323,57	4,06
28	1985	1,68	196,02	82,60	329,32	3,99
29	1986	1,70	242,02	82,60	411,43	4,98
30	1987	1,75	258,86	82,70	453,00	5,48
31	1988	1,90	269,80	90,70	512,62	5,65
32	1989	1,92	278,91	91,20	535,51	5,87
33	1990	1,98	297,36	94,30	588,77	6,24

Xi-X	Yi-Y	(Xi-X)(Yi-Y)	(Xi-X) ²	(Yi-Y) ²
-79,03	-488,16	38581,57	6246,49	238299,81
-78,79	-488,07	38457,70	6208,61	238216,68
-78,29	-488,04	38210,93	6130,07	238182,62
-75,99	-487,56	37051,97	5775,20	237714,39
-75,79	-487,36	36939,42	5744,84	237520,98
-75,5	-487,27	36834,83	5714,56	237429,24
-74,69	-486,95	36372,32	5579,30	237116,62
-73,49	-486,71	35770,52	5401,48	236885,28
-67,39	-481,53	32452,45	4542,05	231869,21
-67,39	-479,87	32340,89	4542,05	230277,69
-66,19	-475,45	31472,39	4381,74	226054,24
-65,69	-474,47	31169,93	4315,80	225118,10
-64,29	-470,62	30258,62	4133,81	221486,59
-52,29	-456,34	23863,97	2734,74	208242,55
-48,19	-434,04	20918,35	2322,73	188388,97
-44,29	-440,78	19524,39	1962,02	194290,20
-39,59	-388,95	15400,25	1567,74	151279,67
-36,39	-395,96	14410,71	1324,58	156781,00
-31,69	-386,80	12259,64	1004,56	149617,04
-26,79	-358,80	9614,05	717,96	128740,03
-25,99	-307,31	7988,32	675,73	94436,50
-25,79	-294,38	7593,38	665,37	86657,95
-25,59	-321,04	8216,97	655,09	103067,46
-25,39	-316,25	8031,17	644,89	100016,05
-8,69	-292,23	2540,85	75,60	85397,20
-7,49	-233,44	1749,56	56,17	54493,41
-2,29	-164,73	378,02	5,27	27136,65
0,71	-158,99	-112,13	0,50	25276,76
0,71	-76,88	-54,22	0,50	5909,98
0,81	-35,31	-28,43	0,65	1246,49
8,81	24,32	214,11	77,53	591,29
9,31	47,21	439,31	86,59	2228,90
12,41	100,47	1246,32	153,89	10093,66

Lanjutan 4.8 Analisis data

No	Tahun	H (m)	Q (m ³ /dt)	W _{dat} (m)	W _{hit} (m, W _{hit} / W _{dat})
34	1991	2,00	311,65	95,20	623,29
35	1992	2,12	327,85	95,80	695,05
36	1993	2,21	364,60	96,30	805,76
37	1994	2,26	384,37	96,80	868,68
38	1995	2,25	432,97	97,50	974,18
39	1996	2,30	431,05	98,30	991,40
Jumlah				81,89	488,30
					123,63

Keterangan:

X : Lebar data saluran rata rata

Xi : Lebar data saluran (W dat)

Y : Lebar hitungan saluran rata rata

Yi : Lebar hitungan saluran rata

$$Cc = \frac{\sum (Xi - X)(Yi - Y)}{\sqrt{\sum (Xi - X)^2 \sum (Yi - Y)^2}}$$

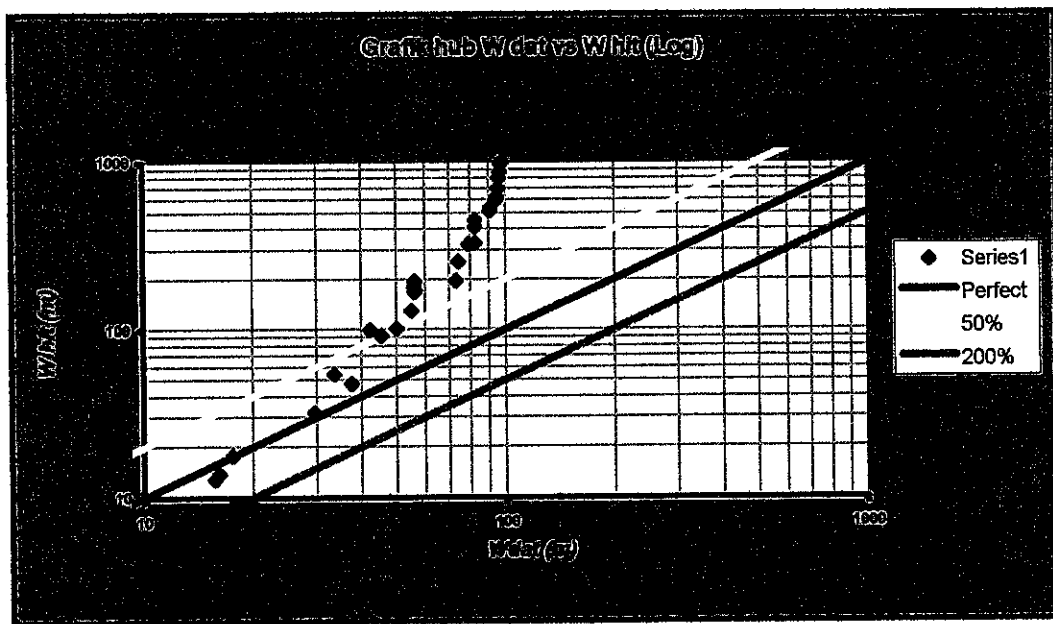
$$Rd = \frac{\sum (Xi - X)(Yi - Y)}{N}$$

$$Rd_i = \frac{W_{hit}}{W_{dat}}$$

$$Cc = \frac{68952,59}{\sqrt{(1392172,31)(4410,49)}} = 0,88$$

$$Rd = \frac{123,63}{39} = 3,17$$

Xi-X	Yi-Y	(Xi-X)(Yi-Y)	(Xi-X) ²	(Yi-Y) ²
13,31	134,99	1796,08	177,03	18222,40
13,91	206,74	2874,84	193,36	42743,39
14,41	317,46	4573,10	207,51	100780,96
14,91	380,37	5669,55	222,17	144683,30
15,61	485,88	7582,30	243,52	236080,48
16,41	503,10	8253,49	269,13	253109,49
Jumlah		68952,59	1392172,31	4410,49

$a = 1.00$ $b = 1.00$ $c = 1.00$ 

Gambar 4.5 Grafik hubungan lebar perhitungan dengan lebar data

Keterangan :

Konstanta a, b dan c diberi nilai 1 sebagai perhitungan awal untuk mendapatkan W hitung.

Nilai a, b dan c tidak boleh sama dengan 0, karena semua nilai W hitung menghasilkan 0.

Tabel 4.9 Hasil analisis data

$$W_{hit} = ah^bQ^c$$

$$a = 6,65$$

$$b = -0,14$$

$$c = 0,48$$

No	Tahun	H (m)	Q (m ³ /dt)	W _{dat} (m)	W _{hit} (m)	W _{hit} / W _{dat}
1	1958	0,80	0,180	2,86	3,03	1,06
2	1959	1,00	0,229	3,1	3,30	1,06
3	1960	0,99	0,267	3,6	3,55	0,99
4	1961	0,94	0,791	5,9	6,00	1,02
5	1962	1,07	0,881	6,1	6,20	1,02
6	1963	1,10	0,942	6,3	6,38	1,01
7	1964	1,10	1,234	7,2	7,25	1,01
8	1965	1,10	1,450	8,4	7,83	0,93
9	1966	1,11	6,104	14,5	15,50	1,07
10	1967	1,30	6,485	14,5	15,61	1,08
11	1968	1,35	9,520	15,7	18,64	1,19
12	1969	1,35	10,250	16,2	19,30	1,19
13	1970	1,30	13,600	17,6	22,20	1,26
14	1971	1,26	25,371	29,6	30,00	1,01
15	1972	1,47	36,915	33,7	35,10	1,04
16	1973	1,35	35,200	37,6	34,72	0,92
17	1974	1,50	66,238	42,3	46,23	1,09
18	1975	1,41	65,495	45,5	46,38	1,02
19	1976	1,40	72,500	50,2	48,73	0,97
20	1977	1,40	92,500	55,1	54,72	0,99
21	1978	1,60	113,12	55,90	59,11	1,06
22	1979	1,60	121,20	56,10	61,08	1,09
23	1980	1,60	104,54	56,30	56,93	1,01
24	1981	1,62	106,20	56,50	57,26	1,01
25	1982	1,59	123,32	73,20	61,64	0,84
26	1983	1,67	152,61	74,40	67,76	0,91
27	1984	1,72	188,12	79,60	74,54	0,94
28	1985	1,68	196,02	82,60	76,26	0,92
29	1986	1,70	242,02	82,60	84,17	1,02
30	1987	1,75	258,86	82,70	86,56	1,05
31	1988	1,90	269,80	90,70	87,28	0,96
32	1989	1,92	278,91	91,20	88,54	0,97
33	1990	1,98	297,36	94,30	90,89	0,96

Xi-X	Yi-Y	(Xi-X)(Yi-Y)	(Xi-X) ²	(Yi-Y) ²
-79,03	-78,63	6214,42	6246,49	6182,52
-78,79	-78,36	6174,66	6208,61	6140,89
-78,29	-78,11	6115,75	6130,07	6101,47
-75,99	-75,66	5749,88	5775,20	5724,67
-75,79	-75,46	5719,59	5744,84	5694,44
-75,59	-75,28	5691,04	5714,56	5667,62
-74,69	-74,41	5558,03	5579,30	5536,84
-73,49	-73,83	5426,22	5401,48	5451,07
-67,39	-66,16	4458,94	4542,05	4377,36
-67,39	-66,06	4451,80	4542,05	4363,35
-66,19	-63,03	4171,99	4381,74	3972,28
-65,69	-62,36	4096,66	4315,80	3888,65
-64,29	-59,46	3823,08	4133,81	3535,70
-52,29	-51,66	2701,61	2734,74	2668,89
-48,19	-46,56	2244,02	2322,73	2167,97
-44,29	-46,94	2079,09	1962,02	2203,15
-39,59	-35,43	1402,90	1567,74	1255,39
-36,39	-35,28	1284,04	1324,58	1244,73
-31,69	-32,93	1043,84	1004,56	1084,67
-26,79	-26,94	721,95	717,96	725,97
-25,99	-22,55	586,27	675,73	508,66
-25,79	-20,58	530,87	665,37	423,55
-25,59	-24,73	633,02	655,09	611,70
-25,39	-24,40	619,68	644,89	595,46
-8,69	-20,02	174,08	75,60	400,87
-7,49	-13,91	104,22	56,17	193,37
-2,29	-7,12	16,34	5,27	50,70
0,71	-5,40	-3,81	0,50	29,13
0,71	2,51	1,77	0,50	6,31
0,81	4,90	3,95	0,65	24,01
8,81	5,62	49,45	7,53	31,54
9,31	6,88	64,00	86,59	47,31
12,41	9,23	114,47	153,89	85,14

Lanjutan tabel 4.9 Hasil analisis data

No	Tahun	H (m)	Q (m ³ /dt)	W ^{dat} (m)	W ^{hit} (m)	W ^{hit} / W ^{dat}	Xi-X	Yi-Y	(Xi-X)(Yi-Y)	(Xi-X) ²	(Yi-Y) ²
34	1991	2,00	311,65	95,20	92,81	0,97	13,31	11,15	148,35	177,03	124,32
35	1992	2,12	327,85	95,80	94,31	0,98	13,91	12,65	175,87	193,36	159,96
36	1993	2,21	364,60	96,30	98,63	1,02	14,41	16,97	244,39	207,51	287,82
37	1994	2,26	384,37	96,80	100,82	1,04	14,91	19,16	285,59	222,17	367,12
38	1995	2,25	432,97	97,50	106,77	1,10	15,61	25,10	391,77	243,52	630,25
39	1996	2,30	431,05	98,30	106,21	1,08	16,41	24,55	402,79	269,13	602,83
Jumlah							Jumlah		4543,07	5180,03	4410,49

Keterangan:

X : Lebar data saluran rata rata

Xi : Lebar data saluran (W dat)

Y : Lebar hitungan saluran rata rata

Yi : Lebar hitungan saluran rata

$$Cc = \frac{\sum (Xi-X)(Yi-Y)}{\sqrt{\sum (Xi-X)^2 \sum (Yi-Y)^2}}$$

$$Rd = \frac{\sum Rd_i}{N}$$

$$Rd_i = W_{hit} / W_{dat}$$

$$Cc = \frac{4543,07}{\sqrt{(5180,03) (4410,49)}}$$

$$= 0,95; \quad Rd = \frac{39}{39} = 1$$

$$W_{hit} = ah^bQ^c$$

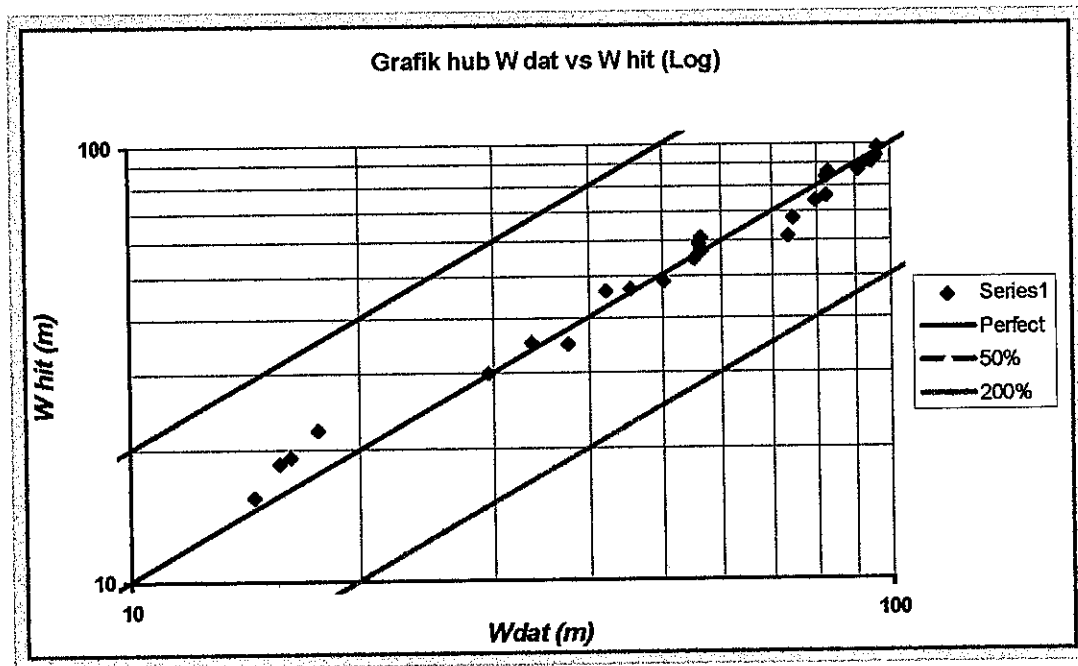
$$a = 6,65$$

$$b = -0,14$$

$$c = 0,48$$

$$Cc = 0,95$$

$$Rd = 1,0$$



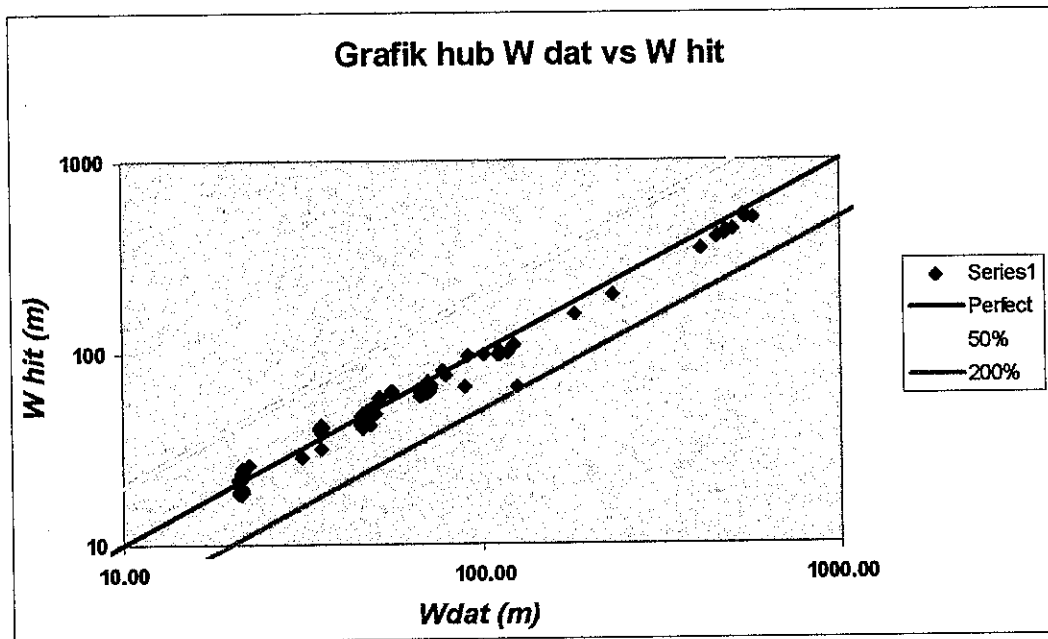
Gambar 4.6 hubungan lebar hitungan dengan lebar data untuk hasil analisis data

4.3. Validasi

Persamaan yang ada dipakai untuk menghitung lebar terusan dengan data debit (Q) dan data tinggi aliran (h) pada :

- Data beberapa sungai di dunia
- Data beberapa sungai di Jawa-Indonesia

Validasi sungai di dunia lihat di Lampiran 2



*Gambar 4.7 Grafik hubungan lebar data dengan lebar hitungan
Untuk validasi terhadap beberapa negara.*

$$W_{hit} = ah^bQ^c$$

$$a = 6,65$$

$$b = -0,14$$

$$c = 0,48$$

Tabel 4.10 Validasi formula lebar saluran dengan data sungai di Jawa

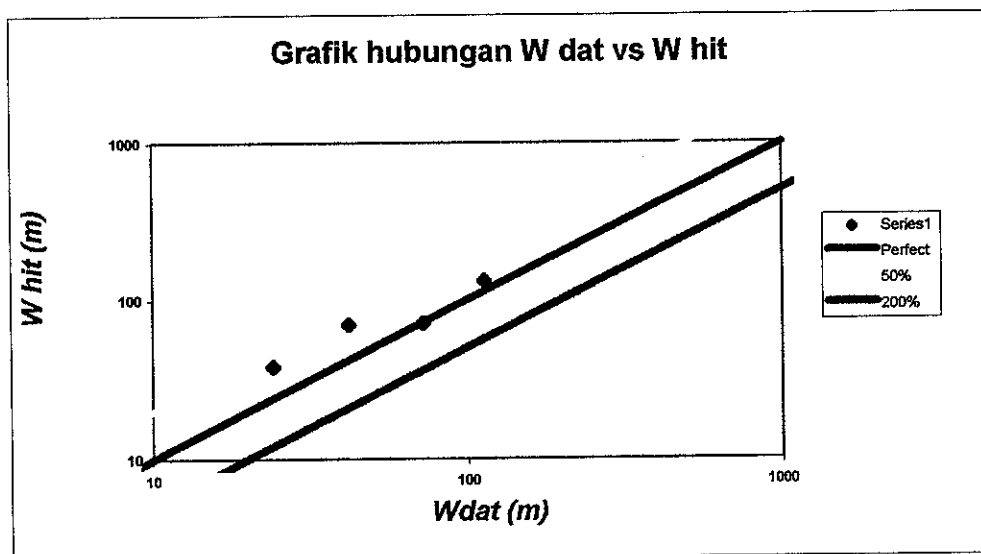
No	Nama sungai	h (m)	Q (m ³ /dt)	W _{dat} (m)	W=ah ^b Q ^c	W _{hit} / W _{dat}
1	Sungai Pemali	6,055	890,000	113,430	131,052	1,155
2	Sungai Dolok	4,200	220,000	72,200	70,911	0,982
3	Sungai Dombo	4,000	210,000	42,000	69,831	1,663
4	Sayung Sungai Semarang	0,700	35,240	24,100	38,073	1,580

$$W_{hit} = ah^bQ^c$$

$$a = 6,65$$

$$b = -0,14$$

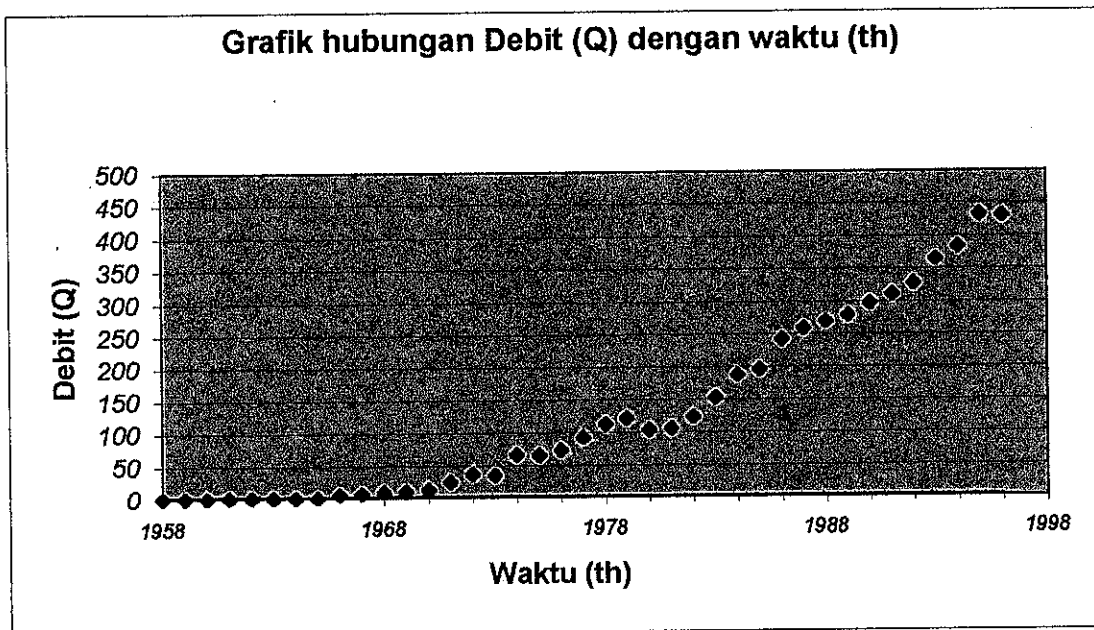
$$c = 0,48$$



*Gambar 4.8 Hubungan antara W_{dat} dengan W_{hit}
Validasi data sungai di Jawa*

4.4. Keseimbangan Sungai

Setelah diteliti lebih dalam hubungan antara perkembangan debit dengan waktu sejak tahun 1958 sampai dengan 1996 menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran pada tahun 1995-1996 terlihat tidak begitu banyak bahkan mengalami penurunan pada tahun 1996. Hal ini dimungkinkan terusan mulai mencapai rezim sungai. (lihat Grafik 4.9)



Gambar 4.9 Hubungan debit dengan waktu

4.5. Prediksi Keseimbangan Sungai

Sebuah sungai akan mengalami keseimbangan secara alami (*equilibrium*) apabila kemiringan, kelebaran, kedalaman aliran dan bentuk penampang serta mengalirkan air dan sedimen transport dalam jangka waktu tertentu tidak mengalami perubahan yang signifikan. (USDA, Rezim Theory, 1979)

Julien, (1995) dalam bukunya *Erosion and Sediment Transport*, hal 127 mengatakan 'Sebuah aliran sungai akan mengalami kestabilan apabila :

1. Partikel dasar (*bed particle*) $\tau_b < \tau_c$
2. Kemiringan $\tau_s < \tau_{0c}$

Tabel di lampiran 3 ditunjukkan oleh Fortier dan Scobey (1926) bahwa bila kondisi tanah tertentu dengan kecepatan aliran tertentu dalam waktu yang cukup lama tidak mengalami perubahan yang berarti maka sungai tersebut dapat dikatakan stabil

4.6 Kondisi Akhir Morfologi

- Terusan Randu bagian hulu : Kemiringan sungai lebih tajam

Penampang lebih lebar

Tinggi aliran air lebih dalam

- Terusan Randu bagian hilir : Kemiringan sungai lebih kecil

Penampang lebih lebar

Tinggi aliran air lebih dalam

- Sungai Ogan : Dasar sungai lebih dangkal karena menerima erosi tanah dari kedua sisi tebing Terusan Randu.

BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Dari analisis studi diatas dapat kami simpulkan sebagai berikut :

- ❑ Kondisi kedua sisi tebing terusan tidak stabil (Tabel 4.2) termasuk jenis tanah non kohesif material.
- ❑ Perhitungan sedimen trasport metode Acker-White dibandingkan dengan data berat tanah yang tererosi adalah 98 %, jadi Metode dapat dipakai untuk laju sediment transpot.
- ❑ Korelasi antara W dengan Q dan W dengan h adalah baik ($C_c \approx 1$).
- ❑ Terusan Randu mengalami pelebaran dikarenakan adanya perkembangan debit dari sungai Komerling.
- ❑ Terusan Randu mulai mencapai rezim sungai (Grafik 9).
- ❑ Analisis perkembangan lebar ini dipengaruhi oleh faktor perubahan debit dan tinggi aliran, sehingga dari analisis ini dapat disimpulkan bahwa :

$$W = 6.65 h^{-0.14} Q^{0.48}$$

Dimana :

W : lebar terusan, h : tinggi aliran dan Q : debit aliran.

- ❑ Dengan formula di atas dari validasi 179 sungai di dunia dan 4 sungai di Indonesia ternyata masuk dalam *range*.
- ❑ Formula di atas hanya berlaku pada sungai itu, bila diaplikasikan ke sungai lain perlu ada ajustment lagi.
- ❑ Proses perkembangan debit dan lebar masih berlangsung untuk mencapai keseimbangan sungai.

- Prediksi Terusan Randu akan mengalami keseimbangan sungai apabila debit, lebar, kedalaman aliran dan penampang sungai sudah tidak mengalami perubahan yang signifikan.

5.2 Rekomendasi

1. Dari studi ini dapat di usulkan bahwa agar kelongsoran tebing pada kedua sisi terusan atau sungai dapat di cegah maka pada setiap penyudetan terusan atau sungai agar dibuat bangunan perkuatan tebing pada bagian pangkal terusan atau sungai.
2. Untuk Terusan Randu Mengingat kemiringannya sebesar 0.001764 termasuk kemiringan yang tajam untuk katagori sungai-sungai yang besar, maka sebaiknya dilengkapi dengan hal yang sama yaitu perkuatan tebing pada bagian pangkal terusan atau sungai sebelum pengaliran air kedalam penyudetan di lakukan.
3. Untuk setiap bangunan penyudetan atau pengambilan air disungai atau satu sungai kesungai lainnya sebaiknya dilengkapi dengan bangunan pengambilan air (Bendung) untuk mengendalikan debit yang masuk kedalam terusan.

STUDI PUSTAKA

1. Ackers, P., and W. R. White. *Sediment Transport; New Aproach and analysis*. J Hyd. Div. ASCE, 99, 1973.
2. Bagnold, R. A. *Experiments on a grafity-free disperition of largesolid spheres in Newtonian fluid under shear*, 1954.
3. Brownlie, W. R. , *Compilation of Alluvial Channel Data: Laboratory and Field. Report Hidraulic and Water Resources division of engineering and Applied Science*, California Instituteof Technology, Pasadena, California, 1981
4. Budi Permana *Microsoft Windows 3.1 36 jam belajar komputer*, PT Elex Media Komputindo Jakarta,1994
5. Chitale, S.V., *Hydraulics of Stable Channels*. Central Water and Power Commission, Ministry of Irrigation and Power, Government of India, 1966.
6. Colby, B.R., and Hembree, C.H., *Computations of Total Sediment Discharge, Niobrara River near Cody, Nebraska*. USGS Water-Supply Paper No. 1357. Government Printing Office Washington, D.C., 187 p.,1955.
7. *Dolog Program Drainage*, PT. Secons, PT Archicon, Dep.PU, 1991.
8. Einstein, H.A., *Bed Load Transportation in Mountain Creek*. US Soil Conservation Service, SCS-TP-55, 50 p, 1944.
9. Engelund, F., and E. Hansen. *A Monograph on Sediment Transport to Alluvial Streams*. Copenhagen: Teknik Vorlag, 1967.
10. Fortier. S and F. C. Scoby, *Permissible Canal Velocities Trans*, ASCE vol. 89, 1926.
11. Harto Sri, *Hidrologi Terapan*, Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM, 1981.
12. Pickford John, M.Sc.,C.Eng,M.I.C.E., *Analysis of Surge*, Department of Civil Engineering Loughborough University Of Technology, 1969.
13. Julien, P.Y., *Erosion and Sedimentation*, Cambrigde Univercity Press,1995.
14. Gregory , *River Channel Changes* , Prof. of Geography and Geology University of Wisconsin, Madison, 1955,1965.
15. Laporan Pendukung volume III, *Kajian sungai Komering dan Ogan*, PT. Multimera Harapan, 1997.

16. Mahmood, et al., *Selected Equilibrium-State Data from ACOP Canals*. Civil, Mechanical and Environmental Engineering Department Report No. EWR-79-2, George Washington University, Washington, D.C., 494 p, 1979.
17. Mardjikoen Pradnjono ,Ir,Prof. *Angkutan Sedimen* , UGM, 1982.
18. Marbun muda.P, *Microsoft Excel 5 for windows*,PT. Dinastindo 1997
19. *Pemali Flood Control*, SMEC (Snowy Mountains Engineering Corporation Limited), 1995.
20. Julien, P. Y. and Warga Dalam, *Alluvial Channel Geometry, Theory and Application*,1995.
21. Julien, P. Y. *Erosion and Sedimentation* ,1995.
22. Posada – 6, Lilian, Transport of Sands in Deep Rivers. Ph. D. Dissertation Depart. Of Civil Eng. , colorado State University,1995.
23. Richardson, E.V. *Highways in the river environment*, Washington DC.,1990.
24. Sansongko, Djoko, Joseph B. Franzini, Ray K. linsley, *Teknik Sumber Daya Air* , Erlangga , 1985.
25. *Semarang Flood Control*, PT. Indah Karya, Dit.Pengairan Dep. PU,1998.
26. Shields, A. *Awendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenz For Versuchanstalt fur Wasserbau und Schiffbau*, 1936.
27. Simons, D.B. and Sentrurk, Fuat, *Sediment Tranport Tecnology Water and Sediment Dynamic*, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, 1992.
28. Simons, D. B. Personal Communication with Kodoatie. Simons & Assosiation, Fort Collins, Colorado.,1999.
29. *Studi pengendalian banjir sungai Komerling,Ogan*,Departemen Pekerjaan Umum, 1998.
30. Supanto, J. MA. *Statistik Teori dan Aplikasi*, jilid 1, Erlangga, 1992.
31. Supanto, J, MA. *Statistik Teori dan Aplikasi*, jilid 2, Erlangga, 1994.
32. Soewarno, *Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, jilid 1, Nova, 1995.
33. Soewarno, *Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*, jilid 2, Nova, 1995.

34. Toffaleti, F. B., *A Procedure for Computation of the Total River Sand Discharge and Detailed Distribution, Bed to Surface*. Technical Report 5, Corps of Engineers, U. S. Army, Wicksburg, 1968.
35. USDA, *Stable Earth Channels Course Reference Soil Conservation Service Potland*, Oregon, 1979.
36. Vreugdenhil, C. B. , *Computational methodes for channel flow, in Hydraulic Research for water management*, Procs. and information no. 18, TNO, The Hague, 1973
37. Yang, Chih Ted, *Sediment Transport Theory and Practice*,The McGraw-Hill Companies, Inc.1996.